

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Перетворювач постійної напруги 12 В на змінну 220 В вихідною  
потужністю 400 Вт

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РАС-41  
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Стадник В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В. І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В. Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Хвостівський М. О.

(прізвище та ініціали)



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Барановський В.М., д.т.н., проф. каф. МТ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	14.03.2026	
3	Аналіз існуючих схем інверторів напруги 12–220 В та пристроїв резервного живлення інформаційно-комунікаційного обладнання	21.03.2026	
4	Розробка структурної схеми інвертора 12–220 В потужністю 400 Вт	23.03.2026	
5	Розробка електричної принципової схеми інвертора	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази інвертора 12–220 В потужністю 400 Вт	12.04.2026	
7	Розробка опису принципу роботи інвертора та його основних функціональних вузлів	16.04.2026	
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи інвертора	22.04.2026	
9	Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів друкованого монтажу	02.05.2026	
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати інвертора 12–220 В потужністю 400 Вт	15.05.2026	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення посадкових місць та параметрів друкованого вузла	23.05.2026	
12	Розробка конструкторської документації на інвертор 12–220 В потужністю 400 Вт	03.06.2026	
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	08.06.2026	
14	Нормоконтроль	09.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагиат	11.06.2026	
17.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Стадник В. В.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Яськів В. І.

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Перетворювач постійної напруги 12 В на змінну напругу 220 В потужністю 400 Вт». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41. // Тернопіль, 2026 р. // с. – 115, рис. – 56, табл. – 32, бібліогр. – 50, додат. – 4.

Ключові слова: ПЕРЕТВОРЮВАЧ НАПРУГИ, ІНВЕРТОР, ПОСТІЙНА НАПРУГА, ЗМІННА НАПРУГА, 12 В, 220 В, ШІМ-КОНТРОЛЕР, MOSFET-ТРАНЗИСТОРИ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ALTIUM DESIGNER, AUTODESK FUSION 360.

У кваліфікаційній роботі розроблено перетворювач постійної напруги 12 В на змінну напругу 220 В потужністю 400 Вт, призначений для живлення малопотужної побутової техніки від акумуляторного джерела живлення. Проектований пристрій може використовуватися для підключення електронних приладів, зарядних пристроїв, освітлювальних пристроїв та іншого навантаження відповідної потужності.

У роботі виконано аналіз технічного завдання, розглянуто структурну схему пристрою, описано електричну принципову схему та принцип роботи основних вузлів інвертора. Обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема ШІМ-контролерів, силових транзисторів, трансформатора, діодів, елементів захисту та індикації.

Також проведено розрахунок основних параметрів пристрою, розрахунок надійності, друкованого монтажу та споживаної потужності. У середовищі Altium Designer розроблено друкований вузол перетворювача. Окремо розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час експлуатації, монтажу та обслуговування проєктованого інвертора.

## ANNOTATION

Qualification work topic: “12 V DC to 220 V AC voltage converter with a power of 400 W”. Bachelor’s qualification work / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // 115 pages, 56 figures, 32 tables, 50 references, 4 appendices.

Keywords: VOLTAGE CONVERTER, INVERTER, DC VOLTAGE, AC VOLTAGE, 12 V, 220 V, PWM CONTROLLER, MOSFET TRANSISTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD, ALTIUM DESIGNER, AUTODESK FUSION 360.

The bachelor’s qualification work presents the development of a 12 V DC to 220 V AC voltage converter with an output power of 400 W. The device is intended for supplying low-power household equipment from a battery power source. The designed inverter can be used to power electronic devices, chargers, lighting equipment and other loads of the corresponding power.

The work includes an analysis of the technical task, the structural diagram of the device, the electrical schematic diagram and the operating principle of the main inverter units. The component base was selected and justified, including PWM controllers, power transistors, transformer, diodes, protection elements and indication components.

The main device parameters, reliability, printed circuit layout and power consumption were calculated. The printed circuit assembly of the converter was developed in Altium Designer, and the product enclosure was designed in Autodesk Fusion 360. Issues of occupational safety and life safety during operation, assembly and maintenance of the designed inverter were also considered.

## Зміст

Вступ.....	8
1 Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Аналіз структурної схеми пристрою.....	16
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою.....	18
1.3.1 Опис електричної принципової схеми.....	21
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	23
1.4.1 Вибір конструкції виробу.....	23
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	25
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу.....	48
1.5.1 Компоновка друкованого вузла.....	48
1.5.2 Розрахунок надійності проєктованого виробу.....	50
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу.....	53
1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати.....	59
1.5.5 Технологія виготовлення корпусу.....	62
1.5.6 Оцінка технологічності виробу.....	63
1.5.7 Технологія складання друкованого вузла.....	68
1.5.8 Технічне обслуговування виробу.....	71
1.5.9 Розрахунок споживаної потужності.....	74
1.6 Висновки до розділу 1.....	75
2 Спеціальна частина.....	77
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання.....	77

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Перетворювач постійної напруги 12 В на змінну напругу 220 В потужністю 400 Вт Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш.</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Розроб.</i>	<i>Стадник В. В.</i>	<i>Яськів В. І.</i>	<i>Хвостівський М.О.</i>	<i>Хвостівська Л.В.</i>		6	115	ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС – 41	
<i>Перевір.</i>	<i>Дунець В. Л.</i>								
<i>Реценз.</i>									
<i>Н.контр.</i>									
<i>Затв.</i>									

2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.....	77
2.3 Створення корпусу у середовищі Autodesk Fusion 360.....	84
2.4 Висновок до розділу 2.....	96
3 Охорона праці та безпека життєдіяльності .....	97
3.1 Стихійні лиха та їх класифікація.....	97
3.2 Заходи з техніки безпеки при експлуатації проєктованого виробу.....	105
3.3 Висновки до розділу 3.....	108
Висновки.....	109
Список використаних джерел.....	110
Додатки.....	115

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

## Вступ

Проектований перетворювач (інвертор) напруги найчастіше використовується у побуті, для перетворення постійної напруги величиною 12В в змінну напругу від 220... до 230В з частотою 50 Гц (в Україні та багатьох інших країнах прийнята саме така напруга і частота для живлення побутових електропристроїв).

Проектований інвертор напруги готовий до роботи після під'єднання вихідних клем перетворювача до акумулятора та увімкнення живлення за допомогою перемикача. Одразу після цього загориться червоний світлодіод живлення, який сигналізує увімкнений стан пристрою та готовність до роботи. Максимальне вихідне навантаження становить 400Вт, тому, якщо підключити до проєктованого виробу навантаження більше максимального, гучномовець у виробі почне видавати довготривалі високочастотні звуки, сигналізуючи про завелике навантаження на виріб. Також гучномовець видає короткотривалі звуки, сигналізуючи, що заряд акумулятора живлення приладу становить 10,5В або менше.

Перетворювач напруги призначений для живлення, побутових конструкцій. Використовується для живлення, та зарядки різної малопотужної побутової техніки (WI-FI роутерів, ноутбуків, смартфонів, діодних ламп, паяльників тощо). Також використовується у радіомайстернях та серед радіолюбителів.

Даний проєктований перетворювач напруги є досить простим та по способу експлуатації є портативним (переносним). Цей прилад працюватиме в основному у середині приміщення, але також можна використовувати його на відкритому просторі, проте, не рекомендується використовувати виріб при високій вологості та високій температурі.

Завдяки невеликим габаритам та невеликій масі даний пристрій можна спокійно переносити з одного місця в інше місце без втомленості та дискомфорту.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

## 1 Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

Для того, щоб пристрій був якісним, надійним та зміг задовільнити свого користувача необхідно скласти ряд вимог, які будуть відповідати усім стандартам щоб пристрій працював довго та безвідмовно.

Основними технічними вимогами до проєктованого перетворювача напруги живлення можуть бути наступні:

- напруга та струм виходу. Даний виріб повинен забезпечувати відповідну напругу та струм, необхідну для живлення приладів, потужністю до 400Вт;

- плавність вихідної напруги. Перетворювач напруги повинен мати плавний вихідний сигнал, щоб уникнути змін напруги та струму, що може завдати шкоди приладам, які живить даний перетворювач;

- захист (у даному виробі повинен бути присутній захист від короткого замикання та перевантаження для того, щоб запобігти можливим пошкодженням приладам, які підключені до даного інвертора та самого інвертора відповідно).

- ефективність. Даний проєктований інвертор 12/220В повинен бути ефективним у використанні енергії, щоб уникнути перевитрат енергії та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Технічні характеристики проєктованого перетворювача напруги характеризують параметри та властивості даного пристрою, описують його функціональні можливості та визначають його ефективність в роботі.

Детальніше про технічні характеристики інвертора напруги наведено у таблиці 1.1

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		9

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики перетворювача (інвертора) напруги

Параметри живлення перетворювача (інвертора) напруги	
Напруга живлення	12 В
Струм споживання (холостого ходу)	0,5 А
Характеристики виробу та електричні параметри	
Вихідна потужність	400 Вт
Вихідна напруга	Від 220... до 240 В
Вихідний струм	1,8 А
Конструктивні параметри друкованого вузла	
Довжина	274 мм
Ширина	124 мм
Висота	24,2 мм
Маса	~1 кг
Умови експлуатації	
Діапазон робочих температур	Від -20... до 40 °С
Допустима вологість повітря	80%
Допустима атмосферний тиск	Від 100... до 134 кПа
Рекомендований час безперервної роботи	12 годин

Сутність процесу інвертування полягає у перетворенні енергії постійного струму в енергію змінного струму заданої частоти та амплітуди. Історично перші інвертори будувалися на базі електромеханічних вібраторів, які згодом були витіснені напівпровідниковими рішеннями. На початкових етапах розвитку напівпровідникової техніки використовувалися низькочастотні схеми (перетворення одразу на частоті 50 Гц) з використанням масивних понижуючих/підвищуючих трансформаторів на основі електротехнічної сталі.

Аналіз сучасних наукових публікацій та патентний пошук свідчать про повний перехід до топологій з високочастотною ланкою перетворення. Це

дозволило зменшити габарити магнітних компонентів у десятки разів. Більшість сучасних дослідників сходяться на думці, що найбільш ефективним підходом для потужностей до 1 кВт є двоступенева архітектура:

1) Підвищення напруги (DC-DC) з 12 В до 310В постійного струму за допомогою високочастотного трансформатора та ШІМ-контролера.

2) Перетворення високої постійної напруги у змінну (DC-AC) за допомогою мостової схеми.

З метою оцінки доцільності реалізації пристрою було проаналізовано декілька побутових підсилювачів, які мають набір функцій, наближених до поставленого технічного завдання.

УКС КС-500D [5] виготовляється компанією УКС. КС-500D - це автомобільний інвертор постійного струму, призначений для перетворення напруги 12В постійного струму автомобільного акумулятора в 220В змінного струму, що дозволяє використовувати різноманітні електроприлади, такі як ноутбуки, телевізори, зарядні пристрої, електроінструменти тощо. Потужність даного інвертора складає 500Вт. Корпус виготовлений з металу. Присутній LCD-дисплей з підсвіткою, який відображає значення вхідної та вихідної напруги, USB-порт та вентилятор охолодження. Вигляд даного інвертора зображений на рис. 1.1. Вартість такого інвертора складає близько \$23.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		11



Рисунок 1.1 – Інвертор напруги UKC KC-500D

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики інвертора напруги UKC KC-500D

Вхідна напруга	10...15В
Вихідна напруга	220В
Номінал автовимкнення при малому заряді акумулятора	9,7...10,3В
Номінал автовимкнення при високому заряді акумулятора	14,5...15,5В
Форма вихідного сигналу	Модифікована синусоїда
Пікова потужність	500 Вт
Частота на виході	50 Гц

СНАО MIN CM-400L [1]. Даний інвертор, як і попередній, призначений для живлення малопотужної побутової техніки, такі як, ноутбуки, смартфони, телевізори та малопотужні електроінструменти – паяльник, шуруповерт та гравер. Корпус виготовлений з металу (алюміній). У даному інвертора, на відміну від попереднього зразка, відсутній вентилятор охолодження. Охолодження даного інвертора здійснюється за рахунок ребристого

алюмінієвого корпусу, який виконує роль суцільного радіатора для силових транзисторів. Зовнішній вигляд даного інвертора напруги зображено на рис. 1.2. Орієнтовна ціна даного інвертора складає \$18.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд інвертора напруги CHAO MIN CM-400L

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики CHAO MIN CM-400L

ККД	80%
Максимальна потужність	400 Вт
Номінал автовимкнення при малому заряді акумулятора	<10,5В
Номінал автовимкнення при високому заряді акумулятора	>15В
Форма вихідного сигналу	Модифікована синусоїда
Частота на виході	50 Гц

УКС 400W Pure Sine Wave [4]. Даний інвертор, як і вищезгаданий, виготовляється компанією УКС. На відмінну від двох попередніх перетворювачів, у даному інверторі формою вихідного сигналу є чиста синусоїда. Це означає, що цей інвертор підходить для підключення чутливої електроніки, електродвигунів та котлів опалення. Даний інвертор, як і попередні, призначений для живлення малопотужної техніки, але окрім

вищезгаданих приладів цей інвертор завдяки чистій синусоїді на виході здатний безперебійно живити асинхронні електродвигуни, трансформатори та генератори. Також присутнє повітряне охолодження вентилятором, захист від перегріву та захист від перевантажень. Вигляд даного інвертора напруги зображено на рис. 1.3. Орієнтовна ціна інвертора UKC 400W Pure Sine Wave складає \$45.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд інвертора напруги UKC 400W Pure Sine Wave

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики CHAO MIN CM-400L

ККД	90%
Максимальна потужність	400 Вт
Номінал автовимкнення при малому заряді акумулятора	<10,3В
Номінал автовимкнення при високому заряді акумулятора	>15В
Форма вихідного сигналу	Чиста синусоїда
Частота на виході	50 Гц

Таким чином, розробка перетворювача 12В постійної напруги на 220В змінної напруги, максимальною вихідною потужністю 400 Вт є доцільним, конкурентоспроможним і актуальним технічним рішенням.

#### Опис проблемної ситуації та аналіз суттєвих аспектів

Головною проблемою при проектуванні інверторів на 400 Вт є пошук балансу між якістю вихідної напруги (чиста або модифікована синусоїда), ККД пристрою та його собівартістю. У науковій спільноті існують різні підходи до цього питання. Деякі автори стверджують, що для живлення імпульсних блоків живлення (ПК, зарядні пристрої) достатньо модифікованої синусоїди, що значно спрощує схему. Інші наголошують на необхідності формування чистої синусоїди методами синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції (SPWM) для сумісності з індуктивними навантаженнями (двигуни, компресори).

Додатковим критичним аспектом є тепловий режим роботи силових транзисторів MOSFET та проблема паразитних індуктивностей при комутації великих струмів (при потужності 400 Вт струм на вході 12 В може перевищувати 35-40 А).

#### Погляди автора щодо шляхів вирішення проблеми

На основі проведеного аналізу, для вирішення поставленої задачі в даній роботі обрано шлях побудови перетворювача за двоступеневою топологією. Як компроміс між складністю та універсальністю, доцільно розглянути реалізацію вихідного каскаду з використанням сучасних драйверів напівмостів.

Окрему увагу автор вважає за необхідне приділити етапу конструювання: мінімізація втрат та впливу паразитних індуктивностей вирішуватиметься не лише схемотехнічно, але й за допомогою ретельного трасування друкованої плати у сучасному САПР Altium Designer. Правильний розрахунок ширини силових доріжок, дотримання зазорів та оптимізація розташування компонентів є не менш важливими факторами для

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		15

досягнення стабільної роботи пристрою на потужності 400 Вт, ніж вибір самої елементної бази.

## 1.2 Аналіз структурної схеми пристрою

Структурна схема інвертора напруги 12/220 – це діаграма у вигляді блок-схеми, яка показує, як компоненти пов'язані між собою і як сигнали передаються через систему. Детальніше про структурну схему наведено на рис. 1.4.

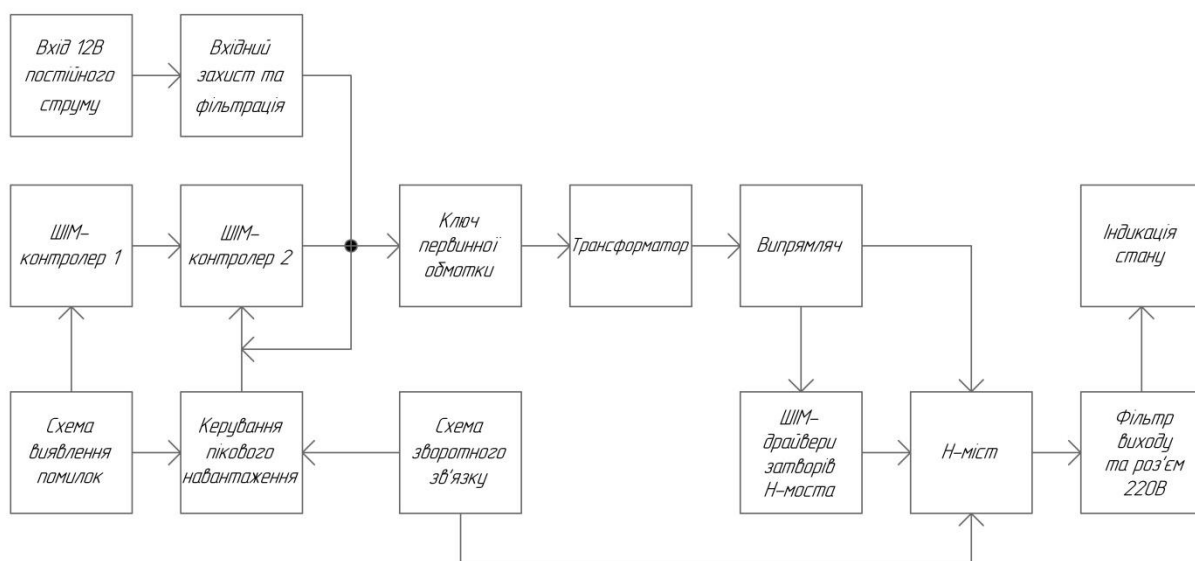


Рисунок 1.4 – Структурна схема інвертора напруги 12/220В

Вхід 12В постійного струму. Джерело первинної енергії, який живить проєктований інвертор напруги.

Вхідний захист та фільтрація. Цей блок відповідає за безпеку всієї системи. Він містить запобіжники для захисту від короткого замикання, схему захисту від неправильного підключення клем, а також LC-фільтри, які згладжують пульсації струму і не дають високочастотним завадам від роботи інвертора проникати назад в електромережу акумулятора.

Каскад підвищення напруги. Ця частина перетворює низьку постійну напругу 12В у високу постійну напругу (близько 310В), необхідну для формування 220В змінного струму.

ШИМ-контролер 1 та ШИМ-контролер 2. Схеми керування, які генерують високочастотні імпульси. Наявність двох блоків може вказувати на двотактну топологію, де кожен контролер керує своїм плечем силових транзисторів, або на розділення функцій між основним генератором та драйвером.

Ключ первинної обмотки. Блок потужних польових MOSFET транзисторів, які з високою частотою задають постійний струм 12В і подають його на первинну обмотку.

Трансформатор призначений для перетворення напруги мережі 12 В, в потрібну по величині напругу (в даному випадку 220В) для нормальної роботи подальших вузлів пристрою, а також здійснює гальванічну роз'язку з мережею, тим самим забезпечує безпеку роботи з пристроєм, який живиться від даного джерела живлення.

Випрямляч. Високочастотна змінна напруга з трансформатора випрямляється та згладжується, утворюючи на виході стабільну шину постійного струму 310В.

ШИМ-драйвери затворів Н-моста. Спеціалізовані мікросхеми, які підсилюють логічні сигнали керування до рівня, достатнього для швидкого та надійного відкриття/закриття потужних транзисторів Н-моста.

Н-міст. Чотири високовольтні MOSFET транзистори MOSFET з'єднані у формі літери "Н". Вони по черзі перемикають напрямок струму через навантаження, формуючи змінну напругу.

Фільтр виходу та роз'єм 220В. Це LC-фільтр, який фільтрує вихідний сигнал після Н-моста від високочастотних гармонік, згладжуючи модифіковану синусоїду.

Індикація стану. Це світлодіод, який інформує про наявність вихідного навантаження.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		17

### 1.3 Проєктування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

Вхідний DC-DC перетворювач – це найголовніший вузол проєктованого інвертора напруги. Саме він визначає ККД пристрою та його максимальну вихідну потужність. Детальніше про даний каскад зображено на рисунку 1.1.

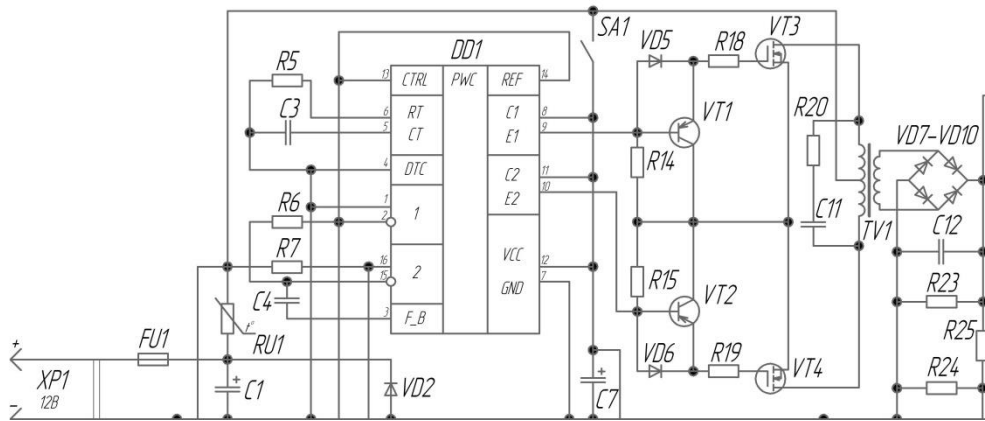


Рисунок 1.5 – вхідний підвищувальний DC-DC перетворювач

Мікросхема TL494 керує силовими ключами. Для топології Push-Pull транзистори відкриваються по черзі, тому частота на кожному виході мікросхеми вдвічі менша за частоту внутрішнього задавального генератора.

Частота на кожному силовому ключі розраховується за формулою:

$$f_{sw} = \frac{1,1}{2 \times R_T \times C_T} \quad (1.1)$$

де  $R_T$  – опір частотоздавального резистора (у вищенаведеному рисунку це резистор R5, опір якого становить 15 кОм);

$C_T$  – ємність частотоздавального конденсатора (це конденсатор C3, ємністю 1000 пФ).

$$f_{sw} = \frac{1,1}{2 \times 15000 \times 1000^{-12}} = \frac{1,1}{3 \times 1000^{-9}} = 36,6 \text{ кГц}$$

Щоб розрахувати трансформатор і транзистори, потрібно знати максимальний струм, який споживатиметься від акумулятора 12 В.

Максимальний вхідний струм розраховується за формулою:

$$I_{in_{max}} = \frac{P_{out}}{\eta \times V_{in_{min}}} \quad (1.2)$$

де  $P_{out}$  – Вихідна потужність інвертора (400Вт);

$\eta$  – ККД DC-DC каскаду (0.85);

$V_{in_{min}}$  – мінімальна напруга розрядженого акумулятора (10.5 В).

$$I_{in_{max}} = \frac{400\text{Вт}}{0,85 \times 10,5\text{В}} = 44,81 \text{ А}$$

Кількість витків первинної обмотки розраховується за формулою:

$$N_1 = \frac{V_{in_{min}} \times 10^4}{4 \times f_{sw} \times B_{max} \times A_e} \quad (1.3)$$

де  $B_{max}$  – максимальна магнітна індукція фериту (0.15 Тл);

$A_e$  – ефективна площа перерізу магнітопроводу (1,07 см<sup>2</sup>).

$$N_1 = \frac{10,5\text{В} \times 10^4}{4 \times 36,6 \text{ кГц} \times 0,15 \times 1,07} = 4,5$$

Кількість витків вторинної обмотки:

$$N_2 = N_1 \times \frac{V_{bus_{dc}}}{V_{in_{min}} \times 2 \times D_{max}} \quad (1.4)$$

де  $V_{bus_{dc}}$  – висока напруга постійного струму після випрямляча (310В);

$D_{max}$  – максимальний робочий цикл для одного плеча. Для TL494 (DD1) він становить 0.45 з урахуванням мертвого часу "Dead-time".

$$N_2 = 4,5 \times \frac{310\text{В}}{10,5\text{В} \times 2 \times 0,45} = 147$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		19

Оскільки струми на стороні 12 В дуже великі, дріт вибирають виходячи з допустимої густини струму.

Переріз дроту визначається за формулою:

$$S_1 = \frac{I_{in_{max}}}{J} \quad (1.5)$$

де  $J$  – допустима густина струму (приймаю 6 А/мм<sup>2</sup>).

$$S_1 = \frac{44,81\text{А}}{6 \text{ А/мм}^2} = 7,47$$

Транзистори у схемі Push-Pull піддаються подвійній напрузі живлення під час закритого стану, плюс до цього додаються викиди напруги від індуктивності розсіювання трансформатора.

Визначаємо співвідношення максимальної напруги «стік-витік»:

$$V_{DS} \geq 2 \times V_{in_{max}} + V_{spike} \quad (1.6)$$

де  $V_{in_{max}}$  – максимальна вхідна напруга пристрою (становить 13В);

$V_{DS}$  – макимальна напруга між стоком і витком транзистора (становить 60В);

$V_{spike}$  – короткочасний, але дуже потужний високовольтний викид напруги, який виникає на стоці транзистора в момент його різкого закриття (30В).

$$60\text{В} > 56\text{В}$$

Як видно зі співвідношення, максимальна напруга транзистора більша, ніж короткочасний імпульс в сумі з подвійним значенням максимальної вхідної напруги виробу.

Співвідношення максимального робочого струму:

$$I_D \geq I_{in_{max}} \times 1,5 \quad (1.7)$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		20

Де  $I_D$  – максимальний безперервний робочий струм стоку (становить 80В)

$$80A \geq 67,215$$

Співвідношення показало, що максимальний робочий струм силових MOSFET транзисторів STP60NF06, більший ніж максимальний вхідний струм з добавкою 20%.

### 1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Електрична принципова схема інвертора напруги є графічним зображенням його електричних компонентів та з'єднань між ними. Детальніше про схему електричну принципову інвертора напруги наведено на рис. 1.5.

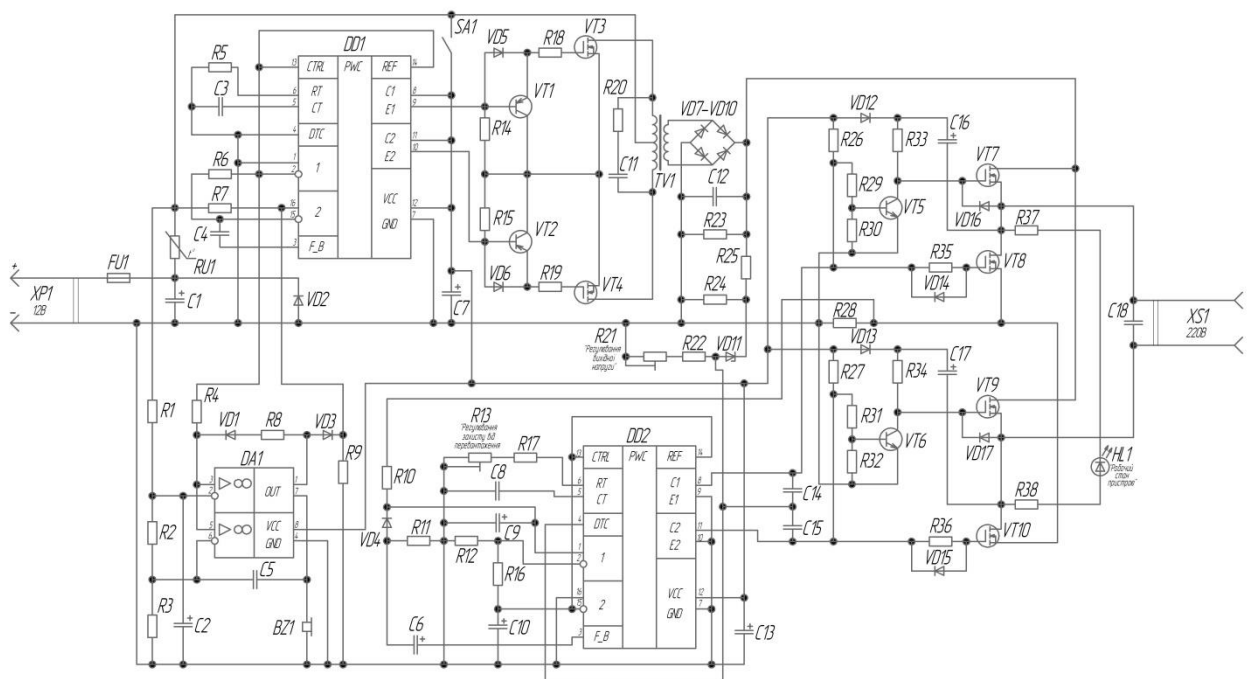


Рисунок 1.6 – Схема електрична принципова інвертора напруги 12/220В

Живлення від акумулятора 12 В подається через роз'єм XP1, та протікає через плавкий запобіжник FU1, призначений для захисту пристрою від перевантаження.

Далі струм протікає через вхідний фільтр C1, VD2, RU1, який призначений для фільтрації можливих всплесків напруги, та елемент захисту від перенапруги RU1.

Далі струм протікає через ШІМ контролер DD1, які генерують керуючі імпульси та використовується для формування мостового керування, через який струм далі протікає через резистори R5-R7 та конденсатори C3 та C4, які, в свою чергу, задають частоту генерації імпульсів.

Після цього струм протікає через транзистори VT1 та VT4 – це підсилювачі сигналу ШІМ.

Під час відкриття VT1 або VT4, через первинну обмотку трансформатора TV1 протікає струм, трансформатор формує змінну напругу у вторинній обмотці.

Через діодний міст VD7-VD10 напруга випрямляється. Напруга на виході діодного моста становить близько 310 В, і щоб згладити напругу використовується конденсатор C12.

Потім, струм протікає на резистори R23-R25 – це розрядні резистори, які призначені для стабілізації струму.

Далі струм протікає на стабілітрон VD11 та резистор R22, які додатково захищають всю схему від надлишку струму та стабілізують її.

Далі блок транзисторів VT5...VT10 формують модифіковану синусоїдальну форму змінної напруги і даний сигнал вже подається на вихід роз'єму XS1.

Вищевказана послідовність протікання струму належить першій половині мосту, друга половина працює аналогічно.

У другій половині мосту мікросхема DA1 контролює напругу та струм, у разі аварії аналогова мікросхема подає сигнал на гучномовець BZ1.

Світлодіод HL1 сигналізує про наявність вихідної напруги.

Підстроювальний резистор R21 призначений для регулювання вихідної напруги. Зазвичай вихідну напругу встановлюють 230 В.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		22

Підстроювальний резистор R13 призначений для встановлення вихідної частоти. Для даної схеми значення становить 100 Гц, а на виході значення частоти становитиме 50 Гц. Це пов'язано з тим, що задана частота рівнопропорційно розподілиться по двом мостам схеми, та в результаті отримаємо нормальне значення частоти.

VD12...VD17 (діоди захисту), R26...R38 (резистори баз), C14...C18 (фільтри) – допоміжні елементи схеми.

#### 1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

##### 1.4.1 Вибір конструкції виробу

При розробці будь-якого виробу важливо, щоб конструкція корпусу впливала на зовнішній вигляд, електричні та механічні розміри, вагу та естетику приладу.

Даний проєктований інвертор напруги 12/220В складається з основного тіла корпусу, передньої та задньої стінок корпусу, гумової ручки, чотирьох гумових ніжок та друкованого вузла.

На передній стінці корпусу розташовані тримач плавкого запобіжника із самим запобіжником відповідно, вхідні клеми (позитивної та негативної полярності), червоного світлодіода індикації та перемикач живлення.

На задній стінці корпусу розташована розетка для живлення пристроїв. Дана стінка кріпиться до головного тіла за допомогою восьми гвинтів.

На верхній частині основного тіла корпусу розташована гумова ручка для ручного транспортування виробу. Ця стінка аналогічно задньої стінки також кріпиться восьми гвинтами.

На нижній частині основного корпусу розташовані гумові ніжки для запобігання скользіння по поверхні, на якій розташований проєктований виріб.

У головному тілі корпусу всередині розташовані пази для монтажу друкованого вузла. Під друкованим вузлом розташовані сім ніжок підтримки по усій площі вузла, це зроблено для того, щоб друкований вузол з часом не

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		23

зігнувся всередину під своєю вагою, тому що габарити по довжині вузла доволі великі і є ризик прогинання плати. Також у середині корпусу між вузлом та ніжками підтримки розташована пластина діелектрика, для запобігання короткого замикання між вузлом та корпусом, оскільки корпус виробу виготовлений з алюмінію, який також слугує радіатором для транзисторів VT3-VT4 та VT7...VT10, які розташовані з краю по боках друкованого вузла. Дана компоновка силових транзисторів дозволяє охолоджувати їх без використання додаткових радіаторів охолодження, в свою чергу це додатково зменшує габарити корпусу. Також між даними силовими MOSFET транзисторами та внутрішніми стінками корпусу, до якої вони прилягають, розташовані термопрокладки для кращого відводу тепла та запобігання можливого короткого замикання. Для того, щоб прокладки не злетіли з задніх стінок транзисторів при монтуванні друкованого вузла до корпусу, додатково на зворотні поверхні, де розташовані термопрокладки транзисторів наноситься термопаста, яка в свою чергу додатково допомагає прокладці відводити тепло від транзисторів.

У корпусі відсутні вентилятори охолодження та отвори вентиляції друкованого вузла. Це зроблено для підвищення вологостійкості та пилозахисту приладу друкованого вузла. Хоча наявність активного охолодження або отворів вентиляції забезпечують виріб від перегрівання та виходу з ладу радіоелементів, у даному проектованому інверторі, як згадувалося вище, корпус виготовлений з алюмінію (який чудово відводить зайве тепло) по зовнішнім боковим та верхній стінкам яких розташовані вбудовані радіатори для додаткового відводу тепла. Тому, враховуючи доволі великі габарити виробу зовнішнього вакуума достатньо для нормальної та безперебійної роботи інвертора, навіть при максимальному навантаженні інвертор здатний працювати без перегріву та ризику термічного руйнування ЕРЕ.

Детальніше про конструкцію корпусу наведено у додатку Г.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		24

#### 1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час вибору елементної бази для проектованого інвертора напруги основними критеріями слід вважати наступні вимоги: відповідність номінальних елементів вказаних в схемі електричній принциповій; наявність даних елементів на виробництві; технічні вимоги поставлені до конструкції; економічна вигода; універсальність радіоелементів; стабільність параметрів; мінімальна кількість розмірів корпусів.

Таблиця 1.5 – Гучномовець ТМВ12А03 [11]

Позиційне позначення	BZ1
Назва та тип компонента	Активний зумер ТМВ12А03
Виробник	HNDZ
Критерії виробу	Малі габарити, рівень шуму
Параметри конструкції	РВТ див рисунок 2.3
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	3 В
Струм навантаження	30 мА
Рівень шуму	85 дБ
Робоча температура	-20...70 °С

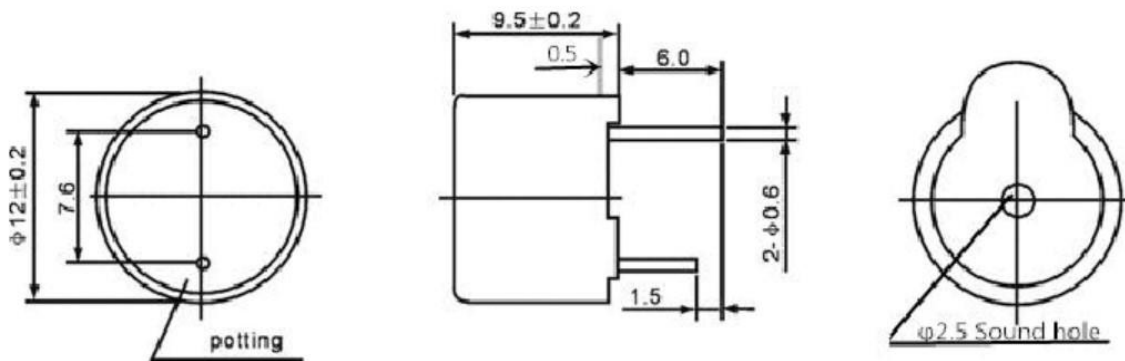


Рисунок 1.7 – Габаритні розміри активного зумера ТМВ12А03

Даний активний бузер призначений для попередження звуковим сигналом про надзвичайний стан пристрою (наприклад, недостатня або надлишок вхідної напруги живлення, або внаслідок підключення до інвертора пристрою, потужність якого перевищує 450 W. Аналогом даного зумера є зумер УТ12095.

Таблиця 1.6 – ШІМ контролер TL494L [41]

Позиційне позначення	DD1-DD2
Назва та тип компонента	ШІМ контролер TL494L
Виробник	Texas Instruments
Критерії виробу	Напруга живлення, частота перетворення
Параметри конструкції	DIP 16 див рисунок 2.4
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	7...40 В
Струм навантаження	15 мА
Максимальний вихідний струм	200 мА
Робоча температура	0...+70 °С
Частота перетворення	1...300 кГц

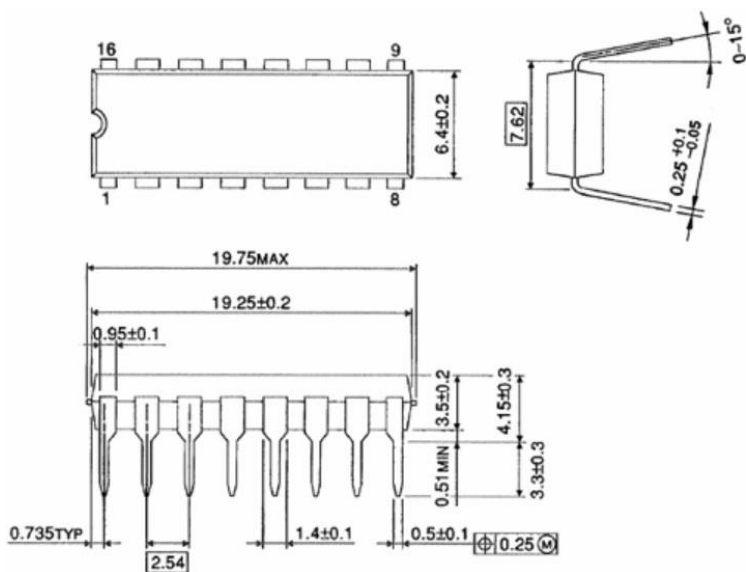


Рисунок 1.8 – Габаритні розміри ШІМ контролера TL494L

ШІМ контролер TL494L призначений для генерування керуючих імпульсів, використовується для формування мостового керування та стабілізації напруги. Аналогами вищезгаданого ШІМ контролера є цифрові мікросхеми KA7500, DBL494 та M5T494P.

Таблиця 1.7 – Операційний підсилювач LM358L [7]

Позиційне позначення	DA1
Назва та тип компонента	Спарений операційний підсилювач LM358L
Виробник	Unisonic Technologies
Критерії виробу	Напруга живлення, робоча частота
Параметри конструкції	DIP 8 див рисунок 2.5
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	3...32 В
Кількість каналів ( $N_{ch}$ )	15 мА
Максимальний вихідний струм	40 мА
Діапазон робочих температур	0...+70 °С
Максимальна робоча частота	1 МГц

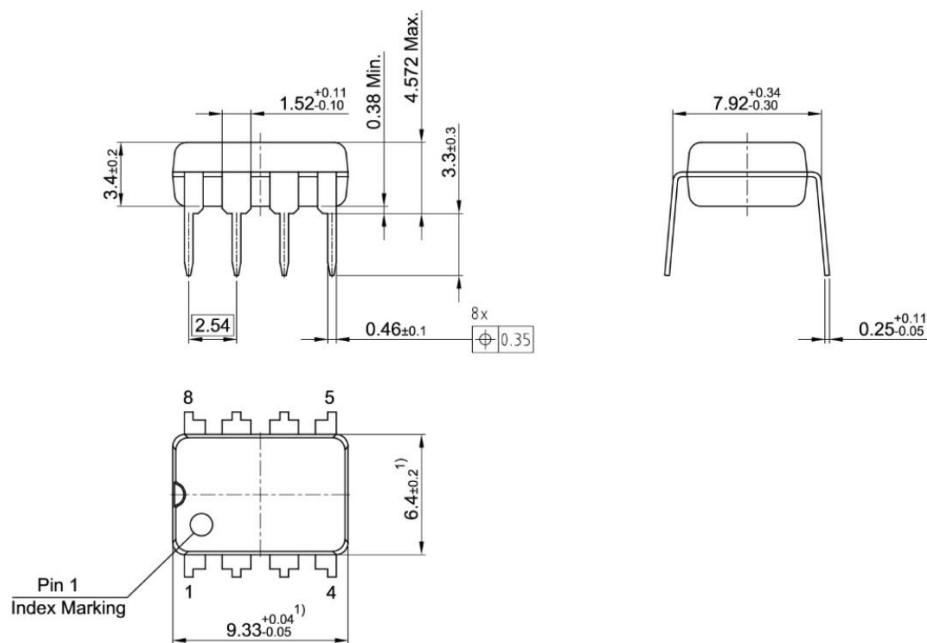


Рисунок 1.9 – Габаритні розміри операційного підсилювача LM358L

Операційний підсилювач LM358L призначений для контролю напруги та струму, а також для звукової та світлової індикації виробу. Аналогами даного операційного підсилювача є GL358, NE532, OP221, OP290, OP295, TA75358P, UPC358C, AN6561.

Таблиця 1.8 – Запобіжник плавкий СН 20А [32]

Позиційне позначення	FU1
Назва та тип компонента	Запобіжник плавкий СН 20А
Виробник	ETI
Критерії виробу	Напруга живлення, робоча частота
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.6
Параметри та характеристики	
Номінальна напруга	250 В
Номінальна сила струму	2 А
Час спрацювання	0,2 с
Діапазон робочих температур	-60...+85 °С
Матеріал	Скло

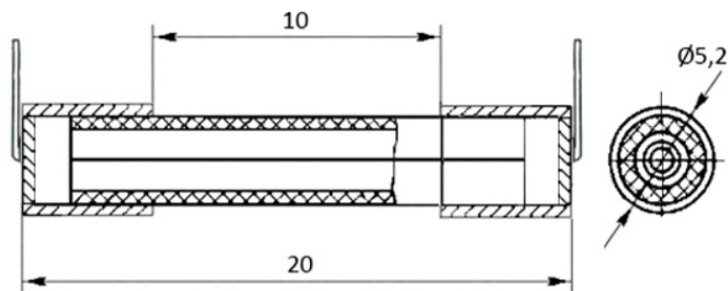


Рисунок 1.10 – Габаритні розміри плавкого запобіжника СН 20А

Плавкий запобіжник СН 20А призначений для захисту виробу від надлишку напруги живлення та від короткого замикання. Аналогом даного запобіжника є скляний запобіжники Н520РТ.

Таблиця 1.9 – Світлодіод RL50N-HY23 [38]

Позиційне позначення	HL1
Назва та тип компонента	Світлодіод RL50N-HY23
Виробник	Mean Well
Критерії виробу	Напруга живлення, робоча частота
Параметри конструкції	Lamp LED див. рисунок 2.7
Параметри та характеристики	
Прямий постійний струм	30 мА
Прямий імпульсний струм	100 мА
Зворотна напруга	5В
Розсіювання по потужності	78 мВт
Тип корпусу	Lamp LED 5 мм
Схема включення	Універсальна
Робоча температура	-30...+85 °С

Package Dimensions

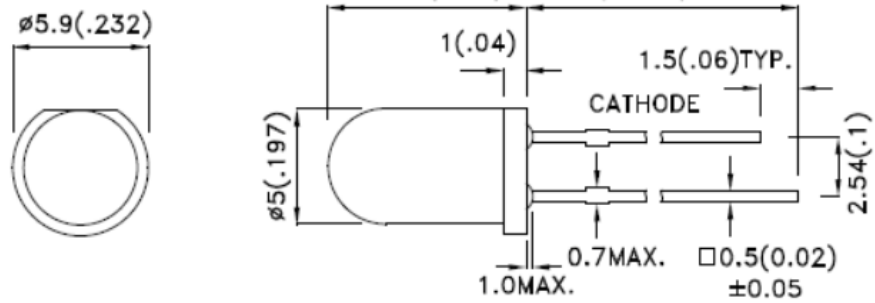


Рисунок 1.11 – Габаритні розміри світлодіода RL50N-HY213

Світлодіод індикації RL50N-HY213 в інверторі напруги призначений для відображення підключеного до виробу навантаження. Дані світлодіоди можна замінити на будь-який їхній аналог.

Таблиця 1.10 – Терморезистор NTC33 [39]

Позиційне позначення	RU1
Назва та тип компонента	Терморезистор NTC33

Виробник	TDK EPCOS
Критерії виробу	Робоча температура, опір
Параметри конструкції	ТНТ див. рисунок 2.8
Параметри та характеристики	
Коефіцієнт температурної чутливості	4090 К
Робоча температура	-40...+125 °С
Опір	33 Ом
Потужність	500 мВт

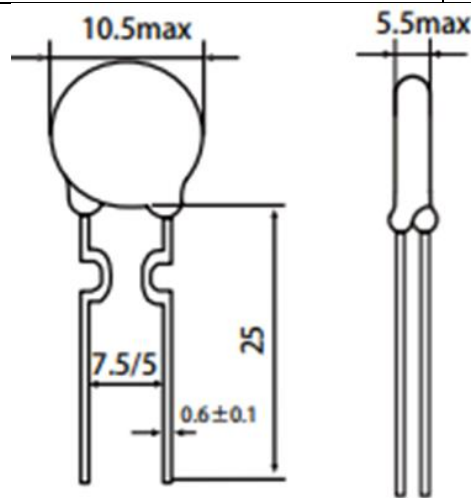


Рисунок 1.12 – Габаритні розміри терморезистора NTC33

Терморезистор NTC33 призначений для збільшення опору при підвищенні температури виробу. Зарубіжний аналог даного терморезистора служить терморезистор SCK-331X5.

Таблиця 1.11 – Одноклавішний перемикач KCD [29]

Позиційне позначення	SA1
Назва та тип компонента	Одноклавішний перемикач KCD1-2-101N
Виробник	АСКО-УКРЕМ
Критерії виробу	Механічна зносостійкість, робоча напруга
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.9
Параметри та характеристики	

Максимальна робоча напруга	250 В
Номінальний робочий струм	6 А
Опір контакту	35 МОм
Діапазон робочих температур	-20...+65 °С
Механічна зносостійкість	10 <sup>5</sup> циклів

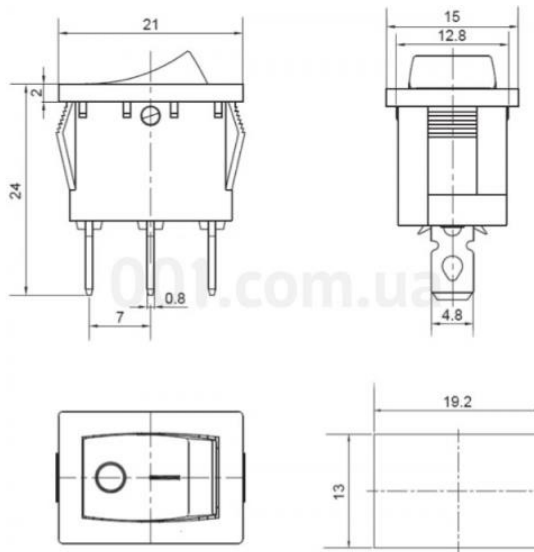


Рисунок 1.13 – Габаритні розміри перемикача KCD1-2-101N

Двоклавішний перемикач KCD-1-2-101N призначений для ввімкнення та вимкнення приладу від мережі живлення. Аналогом даного перемикача є перемикачі серії KCD2, KCD3, KCD4, KCD6.

Таблиця 1.12 – Трансформатор Edifier B60-12D21 [40]

Позиційне позначення	TV1
Назва та тип компонента	Трансформатор Edifier B60-12D21
Виробник	Shenzhen Xiongzhenfa
Критерії виробу	Потужність
Параметри конструкції	ТНТ див. рисунок 2.10
Параметри та характеристики	
Вихідна потужність	55 Вт

Показники вторинної обмотки	12 В; 4,5 А
Тип корпусу	Ш-подібний

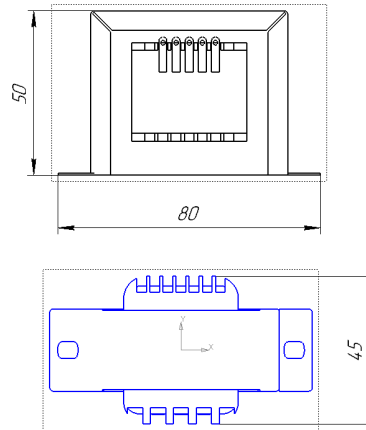


Рисунок 1.14 – Габаритні розміри трансформатора Edifier B60-12D21

Трансформатор у інверторі напруги призначений для перетворення змінної напруги 12 В на змінну напругу 220 В. Аналог трансформатора Edifier B60-12D21 є трансформатор Edifier B60-12D15 та Edifier B60-15D06.

Таблиця 1.13 – Діоди 1N4148 [13]

Позиційне позначення	VD1-VD3...VD6-VD14-VD15
Назва та тип компонента	Діод 1N4148
Виробник	Semtech
Критерії виробу	Механічна зносостійкість, робоча напруга
Параметри конструкції	DO-35 див. рисунок 2.11
Параметри та характеристики	
Максимальна зворотна напруга	100 В
Максимальний струм перевантаження	4 А
Прямий струм	200 мА
Пряма напруга	1 В
Робоча температура	-65...+200 °С

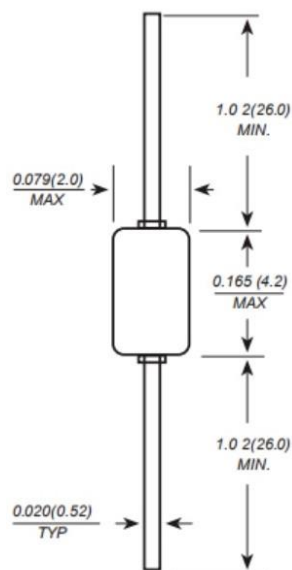


Рисунок 1.15 – Габаритні розміри діода 1N4148

Випрямні діоди 1N4148 призначені здебільшого для захисту від перенапруги. Аналогом даного діода є діод КД522Б.

Таблиця 1.16 – Діоди 1N5401 [15]

Позиційне позначення	VD2
Назва та тип компонента	Випрямний діод 1N5401
Виробник	Fairchild Semiconductor
Критерії виробу	Максимальна пряма напруга, робочий струм
Параметри конструкції	DO-27 див. рисунок 2.12
Параметри та характеристики	
Робочий струм	3 А
Максимальна пряма напруга	100 В
Максимальна пікова імпульсна зворотна напруга	100 В
Максимальне падіння напруги на відкритому діоді при прямому струмі	1 В
Діапазон робочої температури	-50...+150 °С

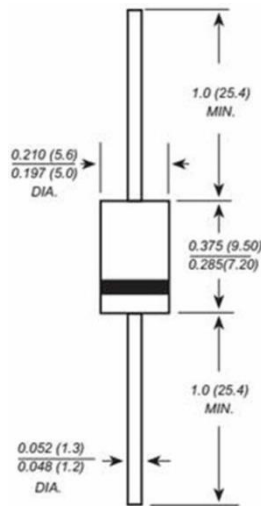


Рисунок 1.18 – Габаритні розміри діода 1N5401

Діод 1N5401 призначений для захисту елементів стабілізатора від зворотної напруги, яка може з'явитися через підключений до входу пристрою зворотної полярності акумулятора. Аналогом даного типу діода є SR5100.

Таблиця 1.17 – Діоди 1N4007 [12]

Позиційне позначення	VD7...VD10
Назва та тип компонента	Випрямний діод 1N4007
Виробник	Taiwan Semiconductor
Критерії виробу	Максимальна зворотна напруга, діапазон робочої температури
Параметри конструкції	DO-41 див. рисунок 2.13
Параметри та характеристики	
Робочий струм	1 А
Максимальна зворотна напруга	1000 В
Максимальна пряма напруга	1,1 В
Ємність	15 нФ
Діапазон робочої температури	-55...+150 °С

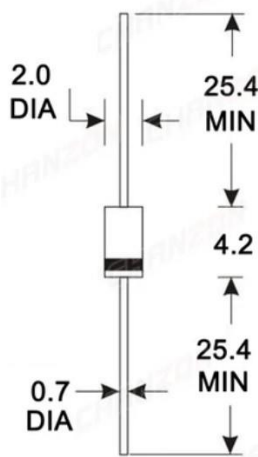


Рисунок 1.19 – Габаритні розміри діода 1N4007

Діоди 1N4007 у інверторі напруги утворюють діодний міст, який призначений для перетворення постійної напруги в змінну. Аналогами діода 1N4007 – це діоди 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, КД208.

Таблиця 1.18 – Стабілітрон 1N5349 [14]

Позиційне позначення	VD11
Назва та тип компонента	Стабілітрон 1N5349
Виробник	Fairchild Semiconductor
Критерії виробу	Напруга стабілізації, діапазон робочої температури
Параметри конструкції	DO-201 див. рисунок 2.14
Параметри та характеристики	
Напруга стабілізації	12 В
Струм стабілізації	100 мА
Потужність	5 Вт
Робоча напруга	11,4...12,6 В
Діапазон робочої температури	-60...+200 °С

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

СВВ 2.008.001 ПЗ

Арк.

35

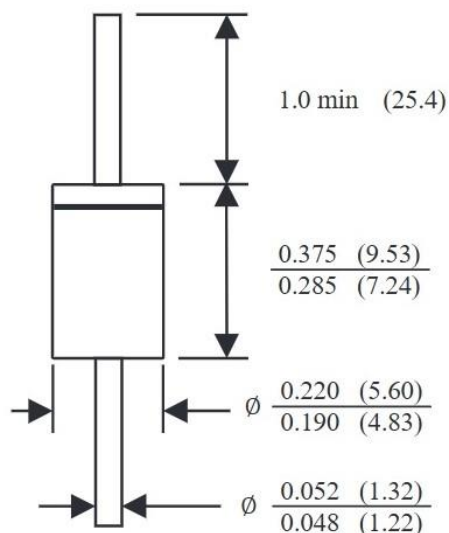


Рисунок 1.20 – Габаритні розміри стабілітрона 1N5349

Стабілітрон у даному виробі призначений для стабілізації вхідної напруги живлення. Його аналогом служить стабілітрон BZV58C12.

Таблиця 1.19 – Діоди Шоттки SR504 [16]

Позиційне позначення	VD12-VD13	
Назва та тип компонента	Діод Шоттки 1N5349	
Виробник	Diotec Semiconductor	
Критерії виробу	Максимальний прями́й імпульсний струм, максимальна постійна зворотна напруга	
Параметри конструкції	DO-27 див. рисунок 2.15	
Параметри та характеристики		
Максимальний прями́й постійний струм	5 А	
Максимальний прями́й імпульсний струм	120 А	
Максимальна пряма напруга	0,55 В	
Максимальна постійна зворотна напруга	40 В	
Максимальний зворотний струм	500 мА	
Максимальна робоча температура	-55...+150 °С	

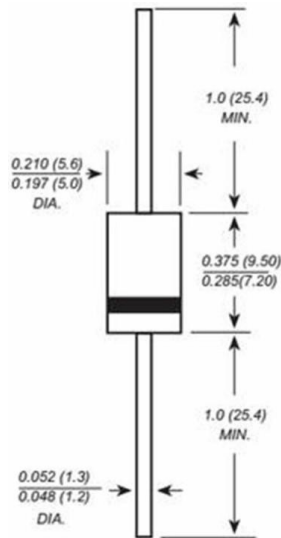


Рисунок 1.21 – Габаритні розміри діода Шоттки SR504

Випрямні діоди Шоттки SR-504 призначені для випрямлення вихідної напруги живлення виробу. Аналогом даних діодів служать діоди SB540 виробника DIOTEC SEMICONDUCTOR.

Таблиця 1.20 – Транзистори A733R [9]

Позиційне позначення	VT1-VT2	
Назва та тип компонента	Біполярний PNP транзистор A733R	
Виробник	NEC Corporation	
Критерії виробу	Максимальна допустима напруга «колектор-база», максимальна допустима напруга «колектор-емітер»	
Параметри конструкції	ТО-92 див. рисунок 2.16	
Параметри та характеристики		
Максимально допустима напруга «емітер-база»	5 В	
Максимальний постійний струм колектора	0,15 А	
Максимальна розсіювальна потужність	0,2 Вт	
Максимальна постійна зворотна напруга	40 В	
Максимальна допустима напруга «колектор-база»	60 В	
Максимальна допустима напруга «колектор-емітер»	50 В	

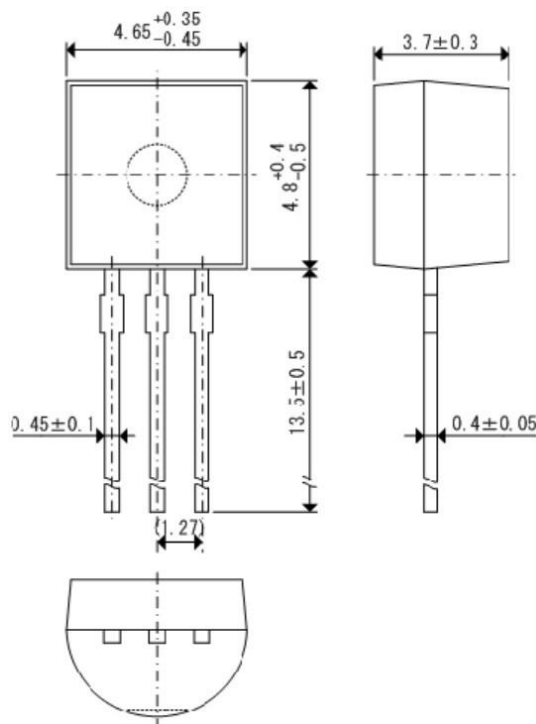


Рисунок 1.22 – Габаритні розміри транзистора A733R

Біполярний PNP транзистор A733R призначений для підсилення сигналу ШІМ. Аналогом цього транзистора є транзистори 2N5401С, 2SA1013, 2SA1275, 2SA1283.

Таблиця 1.21 – Транзистори STP60NF06 [34]

Позиційне позначення	VT3-VT4	
Назва та тип компонента	Польовий N-каналний транзистор STP60NF06	
Виробник	ST Microelectronics	
Критерії виробу	Максимально допустима напруга «стік-витік», максимальний постійний струм витоку	
Параметри конструкції	ТО-220 див. рисунок 2.17	
Параметри та характеристики		
Максимально допустима напруга «стік-витік»		60 В
Максимальний постійний струм витоку		60 А
Максимальна розсіювальна потужність		110 Вт
Максимально допустима напруга «затвор-стік»		20 В

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

СВВ 2.008.001 ПЗ

Арк.

38

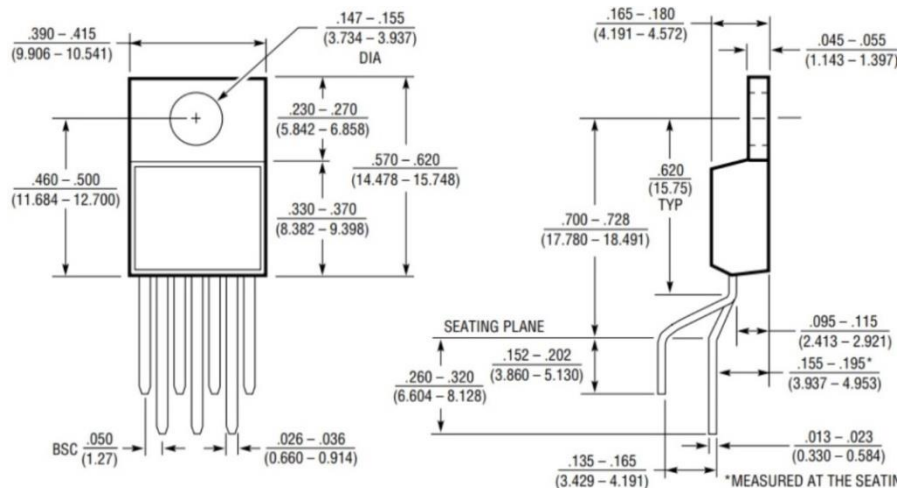


Рисунок 1.23 – Габаритні розміри транзистора STP60NF06

Польовий N-канальний транзистор STP60NF06 призначений для підсилення потужності на вході трансформатора. Даний транзистор можна замінити аналогами PNP83N06T та SPP77N06S2.

Таблиця 1.22 – Транзистори MPSA44L [10]

Позиційне позначення	VT5-VT6
Назва та тип компонента	Біполярний NPN транзистор MPSA44L
Виробник	Diotec Semiconductor
Критерії виробу	Максимально допустима напруга «емітер-база», гранична температура PN-переходу
Параметри конструкції	ТО-92 див. рисунок 2.18
Параметри та характеристики	
Максимально допустима напруга «емітер-база»	350 В
Максимальний постійний струм колектора	0,3 А
Максимальна розсіювальна потужність	0,625 Вт
Гранична температура PN-переходу	150 °С
Гранична частота коефіцієнту передачі струму	20 МГц

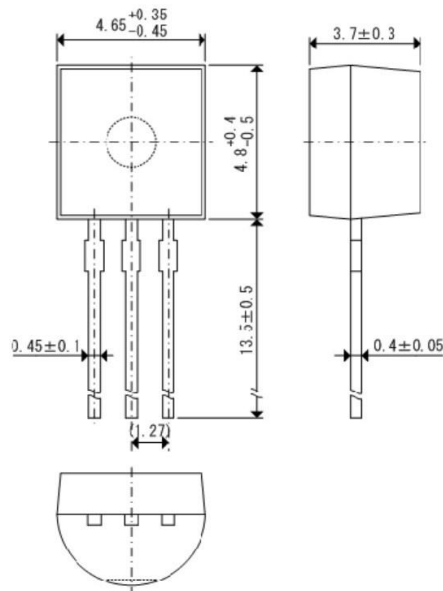


Рисунок 1.24 – Габаритні розміри транзистора MPSA44L

Біполярні NPN транзистори MPSA44L призначені для формування рівної синусоїдальної форми на виході. Аналогом даного транзистора є TSC4505CX RFG, TSC966CW та транзистори серії MPSA.

Таблиця 1.23 – Транзистори IRF730 [33]

Позиційне позначення	VT7...VT10	
Назва та тип компонента	Польовий N-канальний транзистор IRF730	
Виробник	International Rectifier	
Критерії виробу	Максимально допустима напруга «стік-витік», Максимально допустимий постійний струм стоку	
Параметри конструкції	ТО-220 див. рисунок 2.19	
Параметри та характеристики		
Максимально допустима напруга «стік-витік»	400 В	
Максимально допустима напруга «затвор-витік»	20 В	
Максимальна розсіювальна потужність	74 Вт	
Максимально допустимий постійний струм стоку	5,5 А	
Порогова напруга ввімкнення	4 В	

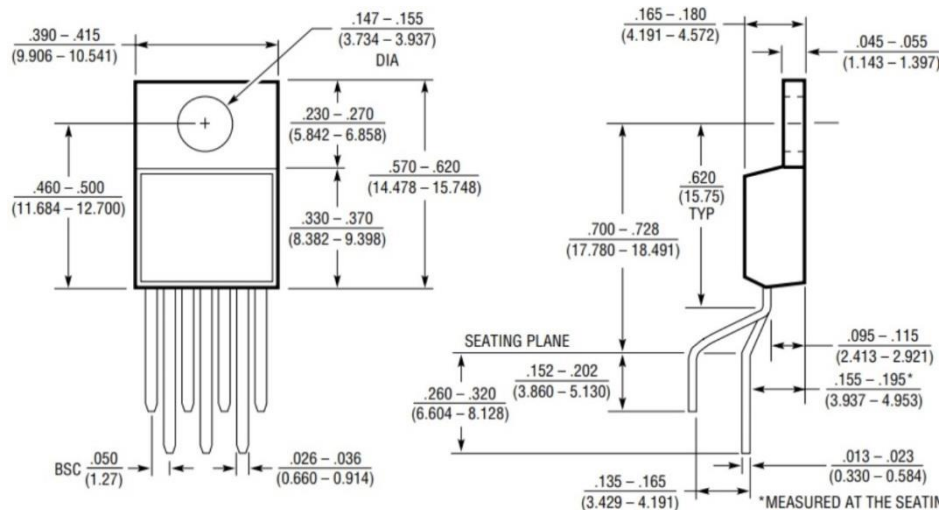
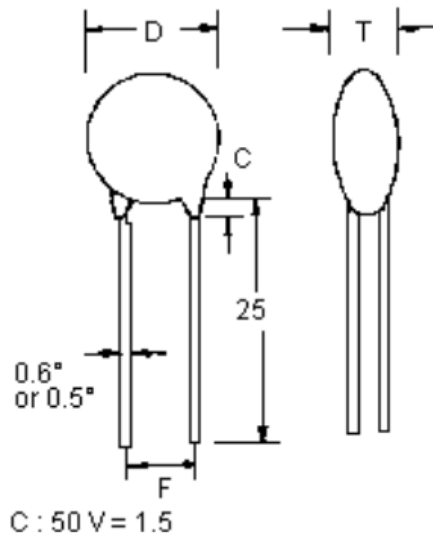


Рисунок 1.25 – Габаритні розміри транзистора IRF730

Польовий N-канальний транзистор IRF730 в інверторі напруги відіграє роль управління напругою та контролю струму при підключенні навантаження на інвертор. Замінити даний транзистор можна транзисторами STP7NK40Z та STP5NK40Z.

Таблиця 1.24 – Керамічні конденсатори K10-7B, CT4 та CC3K [23]

Позиційне позначення	C3; C18; C4-C5; C8
Назва та тип компонента	Керамічні конденсатори K10-7B, CT4 та CC3K
Виробник	Ether Components; SR Passives; Shanghai Jinpei Electronics
Критерії виробу	Малі габарити, висока надійність, дешевизна
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.20
Параметри та характеристики	
Ємності	1000 пФ; 220 пФ; 1 мкФ; 220 нФ
Номінальна напруга	50 В; 400В;
Температура експлуатації	-40...+150 °C
Відхилення номіналу	±20%; ±10%



D		T	F
ССЗК	7.5	3.5	5
К10-7В	5.5		
СТ4	8.5		

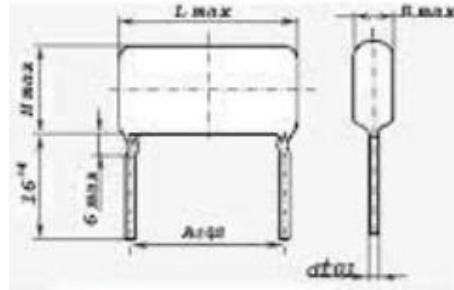
Рисунок 1.26 – Габаритні розміри керамічних конденсаторів К10-7В, СТ4 та ССЗК

Керамічні конденсатори К10-7В, СТ4 та ССЗК призначені для фільтрації випрямленої напруги. Для даних серій конденсаторів аналогів немає.

Таблиця 1.25 – Металоплівкові конденсатори МСС [25]

Позиційне позначення	С11-С14-С15	
Назва та тип компонента	Металоплівкові конденсатори МСС	
Виробник	Hitano	
Критерії виробу	Номінальна напруга, робоча температура	
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.21	
Параметри та характеристики		
Ємності	0,1 мкФ	
Номінальна напруга	50 В	

Робоча температура	-40...+85 °С
Відхилення номіналу	±10%



При L=12, 13 A=10;

при L=18 A=15;

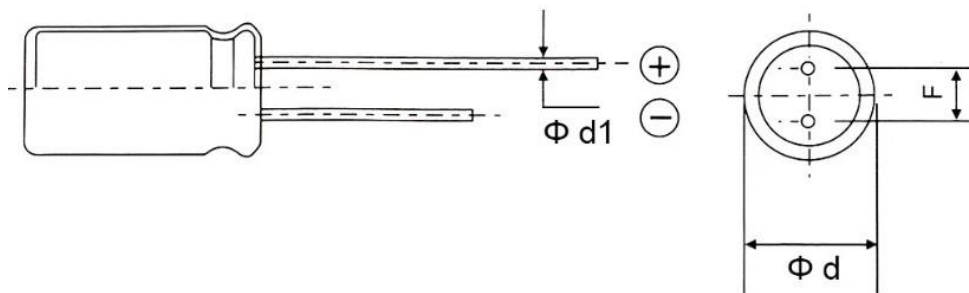
при L=23,24,25 A=20.

Рисунок 1.27 – Габаритні розміри металоплівкових конденсаторів МСС

Металоплівкові конденсатори МСС призначені для фільтрації та згладжування напруги на вхід трансформатор. Для серії конденсаторів МСС існує аналог СВВ22.

Таблиця 1.26 – Електролітичні конденсатори ЕСАР [21]

Позиційне позначення	C1; C2-C9-C10-C16-C17; C6-C7-C13; C12
Назва та тип компонента	Електролітичні конденсатори ЕСАР
Виробник	Ether Components; Samwha
Критерії виробу	Робоча температура, низький ESR
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.22
Параметри та характеристики	
Ємності	1000 мкФ; 2.2 мкФ; 47 мкФ; 10 мкФ
Номінальна напруга	16 В; 25 В; 50 В; 400 В
Робоча температура	-55...+105 °С
Відхилення номіналу	±10%; ±20%



Unit: mm

$\Phi d$	5	6.3	8	10	12.5	16	18
$\Phi d1$	0.5		0.6			0.8	
F	2.0	2.5	3.5	5.0		7.5	

Рисунок 1.28 – Габаритні розміри електролітичних конденсаторів ЕСАР

Електролітичні конденсатори використовуються для згладжування пульсацій та підтримки постійної складової напруги. Аналогів серії конденсаторів ЕСАР немає.

Таблиця 1.27 – Постійні резистори MF [35]

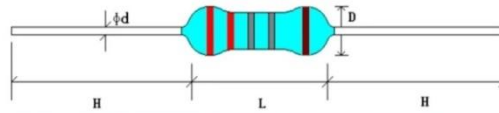
Позиційне позначення	R1-R3; R2-R30-R32...R34; R4-R6-R14-R15; R5; R7; R8-R17; R9; R10; R11-R20-R29-R31-R35-R36; R12-R26-R27; R16; R18-R19; R22; R23; R24; R25; R28; R37-R38
Назва та тип компонента	Постійні резистори загального призначення MF
Виробник	Multicomp Pro
Критерії виробу	Робоча напруга, діапазон робочих температур
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.23
Параметри та характеристики	
Потужність	0,25 Вт; 0,5 Вт; 1 Вт; 2 Вт
Робоча напруга	250 В
Діапазон робочих температур	-55...+125 °С
Відхилення номіналу	±5%; ±10%

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата
-----	------	---------	-------	------

СВВ 2.008.001 ПЗ

Арк.

44



Type	Dimension(mm)			
	D	L	d±0.05	H±3
1/8W	1.9±0.3	3.3±0.3	0.45	28
1/4W	2.2±0.3	6.5±1.0	0.54	28
1/2W	3.0±0.6	9.5±1.0	0.54	28
1W	4.5±0.6	11.5±1.0	0.65	28
2W	5.0±0.6	15.5±1.0	0.70	28
3W	6.0±0.6	17.5±1.0	0.75	28

Рисунок 1.29 – Габаритні розміри постійних резисторів MF

Постійні резистори призначені для обмеження та контролю потоку електричного струму у проектованому виробі. Аналогом резисторів серії MF є резистори серії MCF та MELF.

Таблиця 1.28 – Підстроювальні резистори WH та RM [30, 31]

Позиційне позначення	R13; R21
Назва та тип компонента	Підстроювальні резистори спеціального призначення WH06-1 та RM-063
Виробник	Omter; BOCHEN
Критерії виробу	Компактність, потужність
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.24
Параметри та характеристики	
Потужність	0,1 Вт
Максимальна робоча напруга	50 В
Максимальна кількість циклу без змін параметрів	100
Відхилення номіналу	±20%
Опір	1 кОм; 10 кОм
Діапазон робочих температур	-15...+70 °С
Кут повороту	210°

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

*СВВ 2.008.001 ПЗ*

Арк.

45

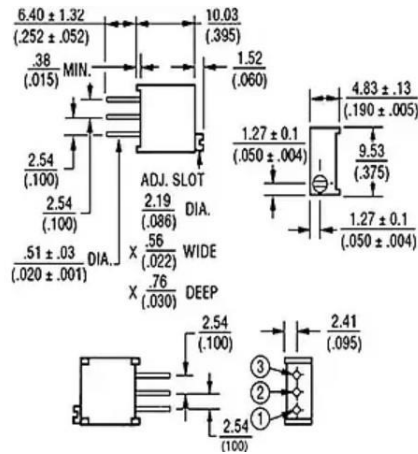


Рисунок 1.30 – Габаритні розміри підстроювальних резисторів WH-06 та RM-063

Підстроювальний резистор WH-06 призначений для регулювання вихідної частоти, а резистор RM-063 призначений для регулювання вихідної напруги. Аналогів для цих підстроювальних резисторів немає.

Таблиця 1.29 – Клеми JS [24]

Позиційне позначення	XP1	
Назва та тип компонента	Зажимні клеми з різьбою JS-333	
Виробник	Logic Power	
Критерії виробу	Максимальний струм, максимальна напруга	
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.25	
Параметри та характеристики		
Максимальний струм	200 А	
Максимальна напруга	2000 В	
Діаметр гвинта/шпильки різьби	8мм (8мм × 1.25мм)	
Загальна довжина клеми	8мм	

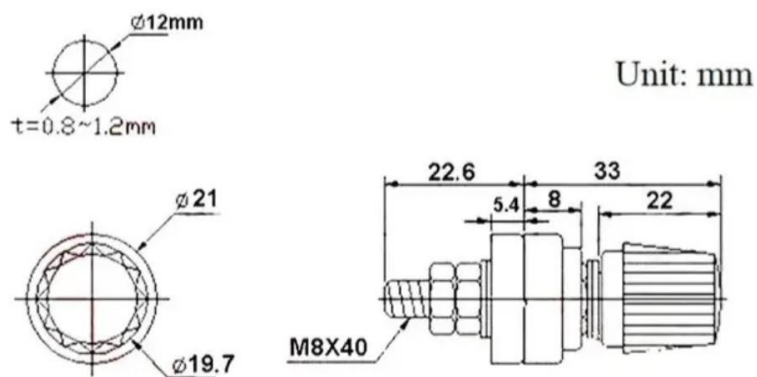


Рисунок 1.31 – Габаритні розміри зажимних клем з різьбою М8

Зажимні входні клеми JS-333 в інверторі напруги використовуються для зручного з'єднання провідників до клем, які з'єднуються з акумулятором. Аналогом даних клем слугуватиме ZL-TX.

Таблиця 1.30 – Розетка CSW-210-C [37]

Позиційне позначення	XS1
Назва та тип компонента	Електрична розетка CSW-210-C
Виробник	Real-EL
Критерії виробу	Максимальний струм
Параметри конструкції	Див. рисунок 2.26
Параметри та характеристики	
Напруга	220 В
Максимальний струм	16 А

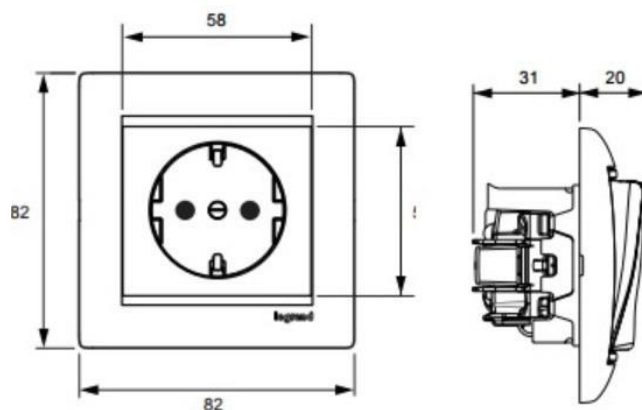


Рисунок 1.32 – Габаритні розміри електричної розетки CSW-210-C

Електрична розетка CSW-210-C в інверторі призначена для підключення різноманітних пристроїв до самого інвертора. Аналогом даної розетки може бути будь-яка інша розетка.

Усі підібрані елементи відповідають вимогам технічного завдання, забезпечують надійну, довготривалу та енергоефективну роботу пристрою, а також дозволяють реалізувати задану функціональність підсилювача та цифрової обробки. При цьому обрані компоненти мають відповідність за електричними характеристиками, розмірами та умовами експлуатації. Їх використання гарантує стабільну роботу структурних блоків проєктованого інвертора напруги.

## 1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

### 1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Габаритні розміри друкованої плати (ДП) проєктованого інвертора напруги обрано з урахуванням кількості ЕРЕ та їх габаритів, щільності компонування, способу монтажу. Для даного інвертора важливо забезпечити велику ширину друкованих провідників, достатньою відстанню між ЕРЕ, а також технологічність виготовлення.

Форму ДП обрано прямокутною. Дана форма плати є технологічною та простішою для виготовлення, тому що це спрощує сам процес виготовлення ДП, відсутні складні форм та простіше встановлення плати в корпус.

Дизайн плати побудований за принципом лінійного проходження сигналу (зліва направо), що дозволяє ефективно розділити низьковольтну (сильнострумову) та високовольтну частини, мінімізуючи наведення та перешкоди.

Під час проєктування ДП розміри не задавалися. Остаточні розміри виставлено після розміщення ЕРЕ та після трасування. Основними вимогами під час проєктування було розміщення силових MOSFET транзисторів на бічних краях вузла для можливості їх охолодження від алюмінієвого корпусу

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		48

виробу, розміщенням на фронтальній та задній частині вузла вхідного та вихідного роз'єму та розміщенням ШІМ-контролерів по центру плати.

У вузлі проєктованого виробу обрано одностороннє розміщення елементів.

Компоновка силових ключів є однією з найголовніших вузлів даного виробу. Вони винесені на верхній та нижній краї плати. Це зроблено спеціально для зручного кріплення до загального радіатора, яким є бокові внутрішні стінки корпусу з обох боків плати. Для інвертора потужністю 400 Вт, де струми на стороні 12В можуть перевищувати 35А, таке відведення тепла є критично важливим.

Мікросхеми розташовані по центру, рівновіддалено від силових ключів. Це дозволяє зробити довжину провідників до затворів транзисторів відносно однаковою, що важливо для синхронності їх відкриття і закриття.

Обв'язка пасивних ЕРЕ, такі як резистори, плівкові та керамічні конденсатори згруповані максимально щільно біля самих виводів мікросхем. Це зменшує паразитну індуктивність та знижує рівень радіочастотних перешкод у колах зворотного зв'язку та частотозадаючих ланцюгах.

Гучномовець розташовано біля аналогової мікросхеми передавання звукової та візуальної інформації LM358L для зменшення довжини провідників та швидкодії відповідно.

У друкованому вузлі відсутні монтажні отвори кріплення по кутах ДП. Вузол кріпиться до корпусу за допомогою поздовжніх пазів на стінках корпусу, де плата заїжджає без необхідності її додатково прикріплювати гвинтами.

До друкованого вузла не встановлюються перемикач SA1, запобіжник FU1, трансформатор TV1, клеми виходу XP1, розетка для виходу 220В та світлодіод індикації HL1. Дані елементи кріпляться до корпусу та будуть припаюватись до своїх посадкових місць за допомогою провідників.

За результатами компонування та трасування у середовищі Altium Designer приймаються габаритні розміри ДП 374×124 мм. Така площа

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		49

забезпечує розміщення всіх компонентів і конекторів без надмірного ущільнення друкованого рисунка в межах прийнятого 2-го класу точності для подібних інверторів напруги.

### 1.5.2 Розрахунок надійності виробу та його параметрів

Надійність - це властивість виробу виконувати задані функції в певних умовах експлуатації при збереженні значень основних параметрів в заданих межах. Надійність характеризується рядом розрахункових показників, найбільш важливими з яких є інтенсивність відмов; середнє напрацювання до відмови; імовірність безвідмовної роботи.

Імовірність безвідмовної роботи вказує на те, яка частина виробів із заданої їх кількості буде працювати безвідмовно протягом заданого часу. Інтенсивністю відмов називають кількість відмов за одиницю часу, що приходить на один виріб, який продовжує працювати в даний момент часу.

Дані для розрахунку надійності приведені в таблиці 1.31.

Таблиця 1.31 – Дані для розрахунку надійності інвертора напруги

№	Назва групи елементів	К-сть шт	К <sub>попр</sub> 1/год	I <sub>відм</sub> * I <sub>с-06</sub>	К- сть*K <sub>нав</sub> *I <sub>від</sub> *I <sub>с- 06</sub>
1	Пайки	150	1	0,02	3
2	Друкування плата	1	1	0,1	0,1
3	Перемикач (на один контакт)	1	1	0,5	0,5
4	Гніздо (на один контакт)	2	1	0,2	0,4
5	Напівпровідникові інтегральні мікросхеми	3	0,03	0,15	0,0135
6	Транзистори НЧ германієві	3	0,42	4,6	5,8
7	Транзистори ВЧ кремнієві	7	0,35	1,7	4,165

Продовж. таблиці 1.31

8	Діоди випрямляючі малої потужності	8	0,35	0,7	2
9	Діоди випрямляючі великої потужності	10	0,35	6	21
10	Стабілітрони середньої потужності	1	0,81	6,2	5
11	Світлодіоди	1	1	4	4
12	Конденсатори керамічні	5	0,1	1,4	0,7
13	Конденсатори плівкові	3	0,49	2	2,9
14	Конденсатори електролітичні	9	0,4	2,4	8,6
15	Резистори постійні 0.125-0.5 Вт	25	0,42	0,8	8,4
16	Резистори недротяні постійні 1 – 2 Вт	11	0,42	0,9	4,16
17	Резистори недротяні змінні	2	0,42	5	4,2
18	Трансформатори живлення	1	0,1	3	0,3
19	Головки динамічні (звук)	1	1	6,5	6,5
20	Запобіжник	1	1	0,5	0,5

Розрахунок надійності було проведено у програмному середовищі для розрахунку надійності NAD-RELEASE [36].

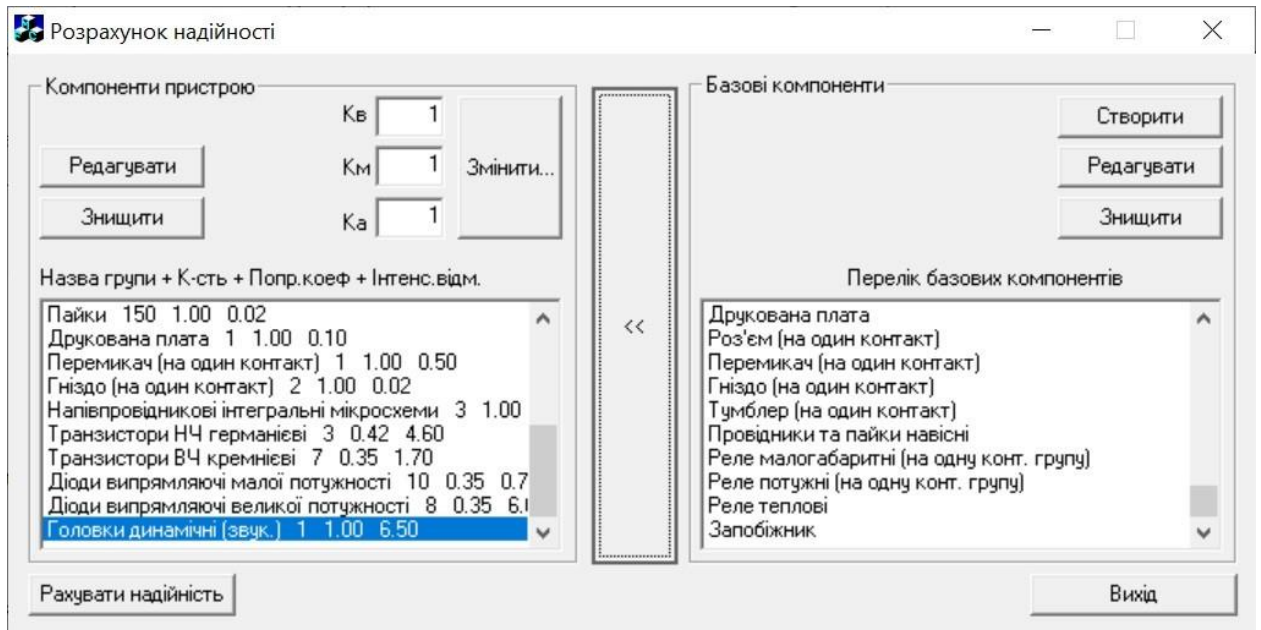


Рисунок 1.33 – Головне вікно програми для розрахунку надійності

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$ :

$$t = 10 \text{ год.} \quad P(t) = 0,999747$$

$$t = 100 \text{ год.} \quad P(t) = 0,986138$$

$$t = 1000 \text{ год.} \quad P(t) = 0,919269$$

$$t = 10000 \text{ год.} \quad P(t) = 0,429412$$

$$t = 100000 \text{ год.} \quad P(t) = 0$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

*СВВ 2.008.001 ПЗ*

Арк.

52

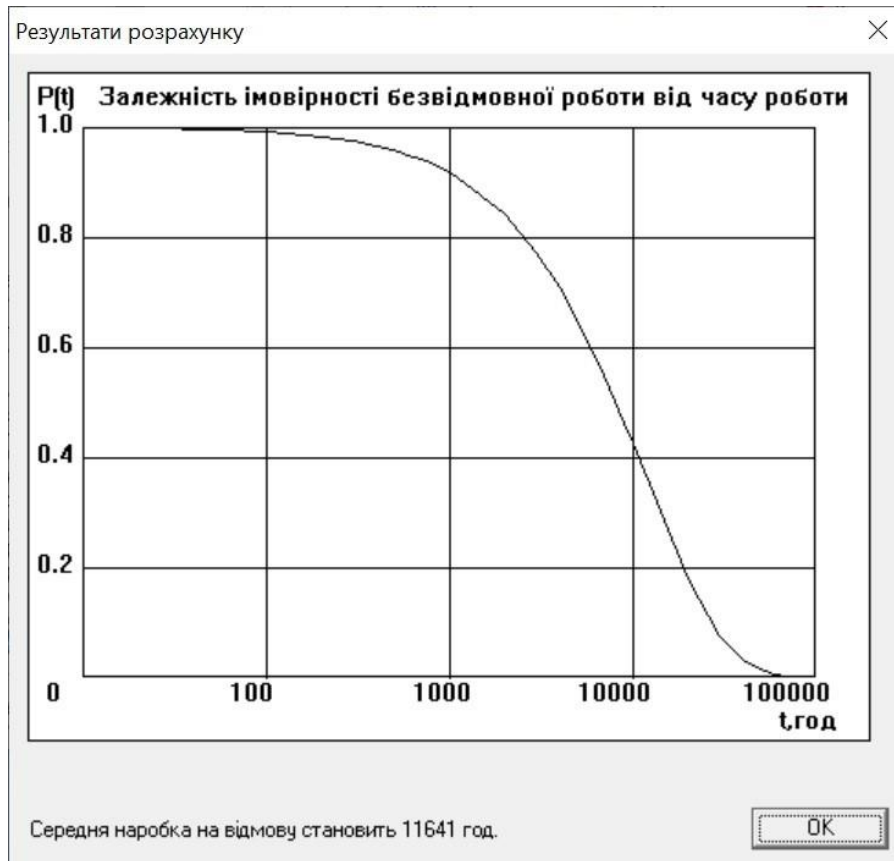


Рисунок 1.34 – Вікно програми з результатами розрахунку надійності

Висновок: для даного інвертора напруги 12/220В середня наробка на відмову становить 11641 годин, що є середнім показником серед схожих інверторів.

### 1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Для даної плати обрано комбінований позитивний метод виробництва.

1) Визначаємо мінімальну ширину друкованого провідника в мм., по постійному струму для кіл живлення і заземлення:

$$b_{min} = \frac{I_{max}}{i_{доп}} \times t \quad (1.8)$$

$$b_{min} = \frac{1,8 \text{ A}}{48 \text{ A/мм}^2} \times 0,0035 = 1,3 \text{ мм}$$

де  $I_{max}$  – максимальний постійний струм, який протікає в провідниках. Визначається із аналізу принципової схеми ( $I_{max} = 1,8 \text{ A}$ );

$i_{доп}$  – допустима густина струму, вибирається в залежності від методу виготовлення плати з таблиці 2.25 ( $i_{доп} = 48 \text{ А/мм}^2$ );

$t$  – товщина провідника.

Таблиця 1.32 – Допустима густина струму в залежності від методу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги $t$ , мкм	Допустима густина струму $j_{доп}$ , А / мм <sup>2</sup>	Питомий опір $\rho$ , Ом мм <sup>2</sup> / м
Хімічний: Внутрішні шари БДП, Зовнішні шари ОДП, ДПП	20, 35, 50 20, 35, 50	15 20	0,050
Комбінований позитивний	20 35 50	75 48 38	0,0175
Електрохімічний	–	25	0,050

2) Визначаємо мінімальну ширину провідника в мм, виходячи з допустимого падіння напруги на ньому:

$$b_{min2} = \frac{\rho \times I_{max} \times l}{t \times U_{доп}} \quad (1.9)$$

$$b_{min2} = \frac{0,00175 \times 1,8 \times 0,35}{0,0035 \times 1,3} = 2,4 \text{ мм}$$

де  $\rho$  – питомий об'ємний опір згідно таблиці 1.32 ( $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2$ );

$l$  – довжина провідника ( $l = 0,355 \text{ мм}$ );

$U_{доп}$  – допустиме падіння напруги, визначається з аналізу принципової схеми і не повинно перевищувати 5% від напруги живлення мікросхем і не більше запасу завадостійкості мікросхем ( $U_{доп} = 1,3\text{В}$ );

$I_{max}$  – максимальний постійний струм, який протікає в провідниках.  
Визначається з аналізу принципової схеми ( $I_{max} = 1,8$  А);

3) Визначаємо номінальне значення діаметрів монтажних отворів  $d$ :

$$d = d_E + |\Delta d_{H.B.}| + r \quad (1.10)$$

$$d_{LED, A733R \text{ та } MPSA44L} = 0,6 + |0,15| + 0,1 = 0,85 \approx 0,9 \text{ мм}$$

$$d_{1N4007 \text{ та } SR504} = 1,1 + |0,15| + 0,1 = 1,35 \approx 1,3$$

$$d_{STP60NF06 \text{ та } IRF730} = 1,2 + |0,15| + 0,1 = 1,45 \approx 1,5$$

$$d_{1N5349 \text{ та } MCC} = 1,4 + |0,15| + 0,1 = 1,65 \approx 1,7$$

де  $\Delta d_{H.B.}$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру монтажного отвору.  $\Delta d_{H.B.} = 0,15$

$r$  – різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром вивода ЕРЕ (в межах 0,1...0,4 мм).  $r = 0,1$  мм.

Розраховані значення  $d$  зводять до нормалізованого ряду отворів: 0,9; 1,3; 1,5; 1,7 мм.

Таким чином при розрахунках було отримано чотири номінальних діаметрів монтажних отворів:

Для світлодіода (HL1) та транзисторів A733R (VT1-VT2) та MPSA44L діаметр отвору  $d_{LED} = 0,9$  мм,  $d_{A733R} = 0,9$  мм,  $d_{MPSA44L} = 0,9$  мм.

Для діодів 1N4007 (VD7...VD10) та SR504 (VD12-VD13) діаметр отвору  $d_{1N4007} = 1,3$  мм,  $d_{SR504} = 1,3$  мм.

Для MOSFET транзисторів STP60NF06 (VT3-VT4) та IRF730 (VT7...VT10) діаметр отвору  $d_{STP60NF06} = 1,3$  мм,  $d_{IRF730} = 1,3$  мм.

Для діода 1N5309 діаметр отвору  $d_{1N5309} = 1,7$  мм.

4) Розраховуємо діаметр контактних площадок. Мінімальний діаметр контактних площадок для ОДП і внутрішніх шарів БДП, виготовлених комбінованим позитивним методом:

$$D_{min} = D_{1min} + 1,5h_{\phi} + 0,03 \quad (1.11)$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		55

де  $h_{\phi}$  – товщина фольги;

$D_{1min}$  – мінімальний ефективний діаметр площадки

5) Формула для розрахунку мінімального ефективного діаметру площадки  $D_{1min}$ :

$$D_{1min} = 2 \left( b_m + \frac{d_{max}}{2} + \delta_d + \delta_p \right) \quad (1.12)$$

Де  $b_m$  – відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки;

$\delta_d$  і  $\delta_p$  – допуски на розташування отворів і контактних площадок;

$d_{max}$  – максимальний діаметр просвердленого отвору, мм:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) \quad (1.13)$$

$$d_{maxLED,A733R \text{ та } MPSA44L} = 0,8 + 0,15 + 0,1 = 1,05 \approx 1 \text{ мм}$$

$$d_{max1N4007 \text{ та } SR504} = 1,3 + 0,15 + 0,1 = 1,55 \approx 1,5 \text{ мм}$$

$$d_{maxSTP60NF06 \text{ та } IRF730} = 1,4 + 0,15 + 0,1 = 1,65 \approx 1,6 \text{ мм}$$

$$d_{max1N5349 \text{ та } MCC} = 1,6 + 0,15 + 0,1 = 1,85 \approx 1,8 \text{ мм}$$

де  $\Delta d$  – допуск на отвір.

Мінімальний діаметр, мм, контактних площадок для ДДП і зовнішніх шарів БДП, які виготовляються комбінованим позитивним методом:

$$D_{1minLED,A733R \text{ та } MPSA44L} = 2 \left( 0,045 + \frac{1,05}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,04 \text{ мм}$$

$$D_{1min1N4007 \text{ та } SR504} = 2 \left( 0,045 + \frac{1,55}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,44 \text{ мм}$$

$$D_{1minSTP60NF06 \text{ та } IRF730} = 2 \left( 0,045 + \frac{1,65}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,64 \text{ мм}$$

$$D_{1min1N5349 \text{ та } MCC} = 2 \left( 0,045 + \frac{1,85}{2} + 0,15 + 0,25 \right) = 2,84 \text{ мм}$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		56

Для ДДП і зовнішніх шарів БДП, виготовлених електрохімічним методом: при фотохімічному способі отримання малюнка:

$$D_{min} = D_{1min} + 0,03 \quad (1.14)$$

$$D_{minLED,A733R \text{ та } MPSA44L} = 2,04 + 0,03 = 2,07 \text{ мм}$$

$$D_{min1N4007 \text{ та } SR504} = 2,44 + 0,03 = 2,47 \text{ мм}$$

$$D_{minSTP60NF06 \text{ та } IRF730} = 2,64 + 0,03 = 2,67 \text{ мм}$$

$$D_{min1N5349 \text{ та } MCC} = 2,84 + 0,03 = 2,87 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної площадки:

$$D_{max} = D_{min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (1.15)$$

$$D_{maxLED,A733R \text{ та } MPSA44L} = 2,07 + 0,03 = 2,1 \text{ мм}$$

$$D_{max1N4007 \text{ та } SR504} = 2,47 + 0,03 = 2,5 \text{ мм}$$

$$D_{maxSTP60NF06 \text{ та } IRF730} = 2,67 + 0,03 = 2,7 \text{ мм}$$

$$D_{max1N5349 \text{ та } MCC} = 2,87 + 0,03 = 2,9 \text{ мм}$$

Мінімальна ширина провідників для ОДП і внутрішніх шарів БДП, які виготовлені хімічним методом:

$$D_{min} = D_{1min} + 1,5h_{\phi} + 0,03 \quad (1.16)$$

$$D_{minLED,A733R \text{ та } MPSA44L} = 2,07 + (1,5 \times 0,035) + 0,03 = 2,15 \text{ мм}$$

$$D_{min1N4007 \text{ та } SR504} = 2,47 + (1,5 \times 0,035) + 0,03 = 2,55 \text{ мм}$$

$$D_{minSTP60NF06 \text{ та } IRF730} = 2,67 + (1,5 \times 0,035) + 0,03 = 2,75 \text{ мм}$$

$$D_{min1N5349 \text{ та } MCC} = 2,87 + (1,5 \times 0,035) + 0,03 = 2,95 \text{ мм}$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		57

6) Визначаю мінімальну відстань між елементами провідного малюнку:

$$S_{1min} = L_0 - \left[ \left( \frac{D_{max}}{2} + \delta p \right) + \left( \frac{d_{max}}{2} + \delta l \right) \right] \quad (1.17)$$

$$S_{1minLED} = 2,5 - \left[ \left( \frac{2,1}{2} + 0,25 \right) + \left( \frac{1,05}{2} + 0,1 \right) \right] = 0,6 \text{ мм}$$

$$S_{1minSR504} = 12,5 - \left[ \left( \frac{2,5}{2} + 0,25 \right) + \left( \frac{1,55}{2} + 0,1 \right) \right] = 10,1 \text{ мм}$$

$$S_{1minIRF730} = 5 - \left[ \left( \frac{2,7}{2} + 0,25 \right) + \left( \frac{1,65}{2} + 0,1 \right) \right] = 2,5 \text{ мм}$$

$$S_{1min1N5349} = 12,5 - \left[ \left( \frac{2,9}{2} + 0,25 \right) + \left( \frac{1,85}{2} + 0,1 \right) \right] = 9,8 \text{ мм}$$

$$S_{1minMF-12-12R} = 15 - \left[ \left( \frac{2,1}{2} + 0,25 \right) + \left( \frac{1,05}{2} + 0,1 \right) \right] = 14,1 \text{ мм}$$

де  $L_0$  – відстань між центрами відповідних елементів;

7) Мінімальна відстань між двома контактними площадками:

$$S_{2min} = L_0 - (d_{max} + 2\delta p) \quad (1.18)$$

$$S_{2minLED} = 2,5 - (1,05 + 2 \times 0,25) = 0,95 \text{ мм}$$

$$S_{2minSR504} = 12,5 - (1,55 + 2 \times 0,25) = 10,45 \text{ мм}$$

$$S_{2minIRF730} = 5 - (1,65 + 2 \times 0,25) = 2,85 \text{ мм}$$

$$S_{2min1N5349} = 12,5 - (1,85 + 2 \times 0,25) = 10,15 \text{ мм}$$

$$S_{2min1MF-12-12R} = 12,5 - (1,05 + 2 \times 0,25) = 10,95 \text{ мм}$$

8) Найменша відстань між двома провідниками:

$$S_{3min} = L_0 - (d_{max} + 2\delta l) \quad (1.19)$$

$$S_{3minLED} = 2,5 - (1,05 + 2 \times 0,1) = 1,25 \text{ мм}$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		58

$$S_{3minSR504} = 12,5 - (1,55 + 2 \times 0,1) = 10,75 \text{ мм}$$

$$S_{3minIRF730} = 5 - (1,65 + 2 \times 0,1) = 3,15 \text{ мм}$$

$$S_{3min1N5349} = 12,5 - (1,85 + 2 \times 0,1) = 10,45 \text{ мм}$$

$$S_{3min1MF-12-12R} = 12,5 - (1,05 + 2 \times 0,1) = 11,25 \text{ мм}$$

При електричному розрахунку найменша відстань між двома контактними площадками була розрахована на 0,95 мм а найменша відстань між двома провідниками 3,15 мм.

#### 1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Для того щоб зробити збірку з друкованим виробом, необхідно створити друковану плату, свердлити отвори та контактні деталі. Технологічний процес виготовлення даної друкованої плати відповідає класичному маршруту для двосторонніх плат зі значним струмовим навантаженням та вивідним монтажем (ТНТ). Оптимальним промисловим методом для такої конструкції є субтрактивний метод з металізацією наскрізних отворів.

Даний метод складається з наступних дій:

1) Виготовлення заготовок. Лист фольгованого склотекстоліту (FR-4, товщиною 1.6 з товщиною мідної фольги 35 мкм) розрізають на технологічні заготовки. Габарити 374×124 (Д×Ш) мм вимагають розміщення на панелі з урахуванням технологічних полів для транспортування на конвеєрі. Далі мідна поверхня піддається механічному та хімічному очищенню для зняття оксидів і забезпечення надійної адгезії для наступних покриттів.

2) Свердління отворів. Заготовки формують у пакети та надійно фіксують на столі свердлувального верстата з ЧПК. Виконують свердління абсолютно всіх наскрізних отворів: монтажних отворів по контуру, перехідних отворів для електричного з'єднання шарів та отворів під виводи масивних компонентів. Свердління виконують з невеликим технологічним

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		59

запасом по діаметру +0,15 мм від фінального розміру, оскільки під час наступної металізації на стінках отвору осяде шар міді.

3) Металізація наскрізних отворів. На даному етапі виконують метод хімічного міднення, оскільки стінки отворів є діелектриком, плату занурюють у спеціальні розчини з каталізатором на основі паладію. Це дозволяє осадити на стінках первинний мікроскопічний шар струмопровідної хімічної міді близько 2 мкм.

4) Фотолітографічний метод створення малюнка. На обидві сторони заготовки наносять шар сухого плівкового фоторезисту. Проводять експонування інтенсивним ультрафіолетовим світлом через підготовлені фотошаблони. Ультрафіолет полімеризує ті ділянки фоторезисту, де згодом повинні залишитися мідні доріжки та контактні майданчики. Заготовка проходить через проявну установку, де спеціальний розчин вимиває неекспонований фоторезист, залишаючи чисту мідь у місцях, які підлягають подальшому витравленню.

5) Основне гальванічне міднення та металорезист. Відкриті ділянки міді нарощують у гальванічних ваннах до необхідної робочої товщини 25–30 мкм. Для силового інвертора потужністю 400Вт якісне нарощування міді в отворах і на доріжках є критично важливим для пропуску струмів до 40 А. Відразу після міднення, поверх цієї міді гальванічним шляхом наносять шар металорезисту (сплав олово-свинець). Цей шар виступає захисним щитом для доріжок на наступному етапі.

6) Травлення. Залишки твердого фоторезисту видаляють лужним розчином. На цьому етапі плата покрита міддю, а малюнок схеми захищений оловом. Плату пропускають через установку травлення. Агресивний розчин (хлорна мідь) витравлює всю незахищену мідь до склотекстоліту. Після цього олов'яний металорезист також видаляють хімічним шляхом. На платі залишається готова мідна топологія схеми.

7) Нанесення паяльної маски. Поверхню покривають рідкою фоточутливою паяльною маскою. Маску підсушують, експонують, щоб

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		60

полімеризувати зони над текстолітом і доріжками та проявляють. Розчин вимиває маску лише з тих місць, які призначені для паяння, це контактні майданчики компонентів. Також топологією передбачено зняття маски з широких силових шин для їх додаткового посилення припоєм, ці зони також залишаються відкритими. Плату відправляють в конвеєрну піч для фінального термічного дублення маски.

8) Нанесення макрування елементів. За допомогою сіткотрафаретного друку на верхній шар плати наносять маркування: трансформатора, конденсаторів резисторів, транзисторів та їхні позиційні позначення відповідно біля посадкових місць ЕРЕ. Для плат з виключно ручним вивідним монтажем наявність чіткої шовкографії суттєво пришвидшує складання та мінімізує ризик помилок. Фарбу запікають.

9) Фінішне покриття. Для захисту відкритих мідних майданчиків від окислення та забезпечення легкого нанесення припою наносять фінішне покриття. Для масивних силових плат найраціональнішим і найдешевшим методом є HASL (Hot Air Solder Leveling) – вирівнювання припою гарячим повітрям. Плату занурюють у ванну з розплавленим припоєм, після чого його надлишки видаляють пневматичними ножами, залишаючи рівномірне покриття на майданчиках.

10) Механічна обробка контуру. Плата проходить фрезерування по контуру на верстаті з ЧПК (задають габарити вузла). На цьому ж етапі виконують внутрішні ізоляційні пропили між високовольною та низьковольною частинами.

11) Електричне тестування. Готова плата проходить візуальний контроль. Завершальний етап – електричне тестування. Плату перевіряють на відсутність обривів з'єднань і, що найголовніше для проєктованого інвертора 220В, на відсутність коротких замикань між сусідніми провідниками.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		61

### 1.5.5 Технологія виготовлення корпусу

Дизайн продукту, простота складання під час виготовлення та відділення під час регулювання повинні бути дотримані. Корпус виробу виконаний з основного тіла, передньої та задньої стінок, які з'єднані гвинтами. Цей тип конструкції повинен забезпечувати легкий доступ до обладнання для встановлення та ремонту виробів.

Корпус даного пристрою має постійний поперечний переріз (однаковий профіль по всій довжині) і містить багато поздовжніх ребер для тепловідведення, тому найкращим і найбільш технологічним процесом для його виготовлення є екструзія (пресування) алюмінію.

Технологічний процес методу пресування алюмінію має такі види діяльності:

- Виготовлення основного профілю. Для головної частини корпусу створюють сталеву матрицю, яка повторює поперечний переріз корпусу пректованого виробу. Нагріту циліндричну заготовку з алюмінієвого сплаву під величезним тиском продавлюють через цю матрицю. На виході виходить довгий ребристий профіль, який потім нарізають на відрізки потрібної довжини під даний виріб.

- Механічна обробка (фрезерування та свердління). Після нарізки профілю, деталі відправляють на верстати з ЧПК. На торцях профілю свердлять отвори та нарізають різьбу (для кріплення передньої та задньої стінок). Свердлять отвори в бічних стінках, куди будуть прикручувати силові транзистори. На верхній панелі свердлять отвори для кріплення ручки. На нижній панелі свердлять отвори для кріплення резинових ніжок.

- Виготовлення торцевих передньої і задньої кришок. Панелі з розеткою, клемми "OUT+", "OUT-", вимикачем та запобіжником мають плоску форму, тому екструзія тут не потрібна. Їх найкраще виготовляти методом лазерної різки або штампування з листового алюмінію (товщиною 2 мм). Усі отвори під розетку та круглі клемми вирізають лазером за один прохід, що забезпечує високу точність.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		62

- Фінішне покриття та маркування. Щоб отримати кольори і захистити метал найкраще підійде метод анодування металу. На відміну від порошкової фарби, яка створює теплоізоляційний шар і погіршує охолодження, анодування формує тонку оксидну плівку. Оксидна плівка відмінно відводить тепло, стійка до подряпин і дозволяє пофарбувати алюміній у глибокі кольори. Написи "Invertor 12/220V 400W", "Made on Earth" та "Designed by Stadnyk" найкраще наносити методом лазерного гравіювання, даний метод зніме шар анодування, оголивши білий метал, який виглядатиме стильно і ніколи не зітреться.

Друкований вузол прикріплений до корпусу за допомогою поздовжніх пазів, яка просто заїжджає у корпус без необхідності свердлити додаткові отвори під стійки для кріплення вузла.

#### 1.5.6 Оцінка технологічності виробу

Оцінку технологічності виробу проводять для забезпечення ефективного опрацювання і аналізу конструкції на зниження затрат часу і засобів на її розробку, технологічну підготовку, виготовлення, експлуатацію і ремонт.

При кількісній оцінці технологічності розраховують комплексний показник технологічності  $K$ , який враховує усереднене значення часткових показників з урахуванням коефіцієнтів, які характеризують їх важливість розрахунку.

Комплексний показник технологічності  $K$  визначають за формулою:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi_i} = \frac{K_1 \varphi_1 + K_2 \varphi_2 + \dots + K_7 \varphi_7}{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i} \quad (1.20)$$

$$K = \frac{0,034 \times 1 + 0,75 \times 1 + 0,98 \times 0,75 + 0,57 \times 0,5 + 0,6 \times 0,31 + (-0,3) \times 0,187 + 0,2 \times 0,11}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,187 + 0,11} = 0.86$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		63

де  $K_i$  – величина показника згідно таблиці 1.33 для класу “Електронні блоки”;  
 $\varphi_i$  – функція, яка враховує вагову значимість показника в залежності від його порядкового номера в таблиці 1;  
 $i$  – порядковий номер показника в ранговій послідовності;  
 $S$  – загальна кількість відносних часткових показників в таблиці для даної стадії розробки виробу.

Коефіцієнт використання мікросхем і мікроборок  $K_{\text{ВИК.ІМС}}$  визначають за формулою:

$$K_{\text{ВИК.ІМС}} = \frac{H_{\text{ІМС}}}{H_{\text{ІМС}} + H_{\text{ЕРЕ}}} \quad (1.21)$$

$$K_{\text{ВИК.ІМС}} = \frac{3}{3 + 90} = 0,032$$

де  $H_{\text{ІМС}}$  – кількість інтегральних мікросхем на платі;

$H_{\text{ЕРЕ}}$  – загальна кількість елементів на платі.

Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу  $K_{\text{А.М}}$  виробу визначають за формулою:

$$K_{\text{А.М}} = \frac{H_{\text{А.М}}}{H_{\text{М}}} \quad (1.22)$$

$$K_{\text{А.М}} = \frac{228}{239} = 0,95$$

де  $H_{\text{А.М}}$  – кількість монтажних з’єднань, які здійснюються або можуть здійснюватись автоматизованим способом, тобто наявні механізми, обладнання чи оснастка для виконання монтажних з’єднань;

$H_{\text{М}}$  – загальна кількість монтажних з’єднань.

Коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки ЕРЕ до монтажу  $K_{\text{М.П.ЕРЕ}}$  визначається за формулою:

$$K_{\text{М.П.ЕРЕ}} = \frac{H_{\text{М.П.ЕРЕ}}}{H_{\text{ЕРЕ}}} \quad (1.23)$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		64

$$K_{M.П.ЕРЕ} = \frac{85}{89} = 0,95$$

де  $H_{M.П.ЕРЕ}$  – кількість ЕРЕ, підготовка яких до монтажу здійснюється або може здійснюватись механізованим або автоматизованим методом, тобто наявні механізми, обладнання чи оснастка (або технічна документація) для виконання цих операцій. До числа вказаних ЕРЕ входять і такі, що не потребують спеціальної підготовки до монтажу (реле, роз'єми, патрони і т.д.).

Коефіцієнт повторюваності електрорадіоелементів  $K_{ПОВТ.ЕРЕ}$  визначається за формулою:

$$K_{ПОВТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{H_{Т.ЕРЕ}}{H_{ЕРЕ}} \quad (1.24)$$

$$K_{ПОВТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{60}{89} = 0,33$$

де  $H_{ЕРЕ}$  – загальна кількість ЕРЕ у виробі.

Коефіцієнт застосованості електрорадіоелементів  $K_{ЗАСТ.ЕРЕ}$  визначається за формулою:

$$K_{ЗАСТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{H_{Т.ОР.ЕРЕ}}{H_{Т.ЕРЕ}} \quad (1.25)$$

$$K_{ЗАСТ.ЕРЕ} = 1 - \frac{23}{60} = 0,62$$

де  $H_{Т.ОР.ЕРЕ}$  – кількість типорозмірів оригінальних ЕРЕ у виробі;

$H_{Т.ЕРЕ}$  – загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі.

Коефіцієнт встановлювальних розмірів (кроків) електрорадіоелементів  $K_{ВСТ.Р}$  визначається за формулою:

$$K_{ВСТ.Р} = 1 - \frac{H_{ВСТ.Р}}{H_{ЕРЕ}} \quad (1.26)$$

$$K_{ВСТ.Р} = 1 - \frac{121}{89} = 0,36$$

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		65

де  $H_{ВСТ.Р}$  – кількість видів встановочних розмірів РЕ у виробі.

Коефіцієнт прогресивності формоутворення  $K_{\phi}$  деталей визначається за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{D_{ПР}}{H_{РЕ}} \quad (1.27)$$

$$K_{\phi} = \frac{15}{89} = 0,17$$

де  $D_{ПР}$  – кількість деталей, заготовки яких або самі деталі отримані прогресивними методами формоутворення (штамповкою, пресуванням, порошковою металургією, литтям під тиском, пайкою, зварюванням, клеєнням, із профільованого металу).

Оцінка рівня технологічності виробу визначається в порівнянні розрахованого комплексного показника  $K$  з комплексним нормативним показником  $K_H$  (таблиця 2), який визначається для виробів – аналогів і відображає реально існуючий рівень технологічності на підприємствах по випуску аналогічної РЕА. Це відношення повинно задовільняти умову:

$$\frac{K}{K_H} \geq 1 \quad (1.28)$$

$$\frac{0,86}{0,8} = 1,08 \geq 1$$

Таблиця 1.33. Склад базових показників технологічності для класу виробів “Електронні блоки”

Порядковий номер в ранговій послідовності	Показники технологічності	Позначення	$\phi_i$
1.	Коефіцієнт використання мікросхем і мікрозборок	$K_{\text{вик.імс}}$	1,000

2.	Коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу	$K_{a.m.}$	1,000
3.	Коефіцієнт механізації підготовки ЕРЕ.	$K_{m.п.ере}$	0,750
4.	Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ	$K_{повт.ере}$	0,500
5.	Коефіцієнт застосовуваності ЕРЕ	$K_{заст.ере}$	0,310
6.	Коефіцієнт встановочних розмірів ЕРЕ.	$K_{вст.р.}$	0,187
7.	Коефіцієнт прогресивності формоутворення	$K_{ф}$	0,110

Таблиця 1.34 Нормативи комплексних показників технологічності РЕА

Найменування класу блоків	Стадії розробки робочої документації		
	дослідний взірець	установочна серія	серійне виробництво
Електронні	0,40 – 0,70	0,45 – 0,75	0,50 – 0,80
Радіотехнічні	0,40 – 0,60	0,75 – 0,8	0,80 – 0,85
Електромеханічні	0,30 – 0,50	0,40 – 0,55	0,45 – 0,60

Виріб технологічний завдяки тому, що у ньому використовуються стандартні типи елементів та стандартні варіанти встановлення, відповідно, розрахунок показав, що друкований вузол є технологічним.

### 1.5.7 Технологія складання друкованого вузла

Дана збірка заснована на волокнистих матеріалах SF2-35 1.5ІКР. Плату виготовляють змішаним способом. Після виготовлення друкованої плати переходимо до збірки друкованого вузла.

Перед встановленням на плату вивідні компоненти, особливо аксіальні резистори  $R$  та діоди  $VD$  повинні пройти підготовку. За допомогою спеціальних ручних формовочних пресів РТ 543912 виводи резисторів і діодів згинають під кутом  $90^\circ$  точно під відстань між отворами на платі за допомогою кроку координатної сітки, яка становить 2,5 мм. Виводи компонентів підрізають до оптимальної довжини, щоб після встановлення в посадкові місця ЕРЕ виводи виступали з зворотньої сторони на 2 мм.

Установка ТНТ-компонентів виконують за допомогою автоматичних установників ТНТ-компонентів РД214530 за винятком MOSFET транзисторів VT3-VT4-VT7...VT10, вхідних та вихідних затискачів XP1 та XS1, терморезистора RU1, підстроювальних резисторів R13-R21, світлодіода HL1, запобіжника FU1, гучномовця (бузера) BZ1, трансформатора TV1 та перемикача SA1. Монтаж ведуть від найменших до найбільших компонентів. Спочатку встановлюють резистори R1...R12-R14-R15...R20-R22-R24...R28, дрібні діоди VD1-VD3...VD6-VD14-VD15. Далі встановлюють ШІМ-контролери DIP-корпусів DD1-DD2 та DA1. Далі встановлюють діоди більших розмірів VD2-VD7...VD13 решту резисторів R16-R23-R37-R38, транзистори VT1-VT2-VT5-VT6 керамічні конденсатори C3...C5-C8-C18 та електролітичні конденсатори C2-C9-C10-C16-C17. Далі встановлюють великогабаритні деталі, такі як плівкові конденсатори C11-C14-C15, та електролітичні конденсатори C1-C6-C7-C12-C13. В останню чергу вручну встановлюють решту вищенаведені елементи.

Для проєктованого інвертора напруги використовується паяння хвилею припою.

Плату з компонентами пропускають по конвеєру над спреї-флюсатором, який наносить тонкий шар активного флюсу на нижню сторону.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		68

Плата проходить через зону інфрачервоного (ІЧ) нагріву, це активує флюс, випаровує з нього розчинник і прогріває текстоліт та мідні полігони, щоб уникнути перегріву компонентів.

Нижня частина плати на кілька секунд торкається розплавленого гребеня хвилі припою ПОС-63. Припой миттєво змочує всі металізовані отвори та виводи, утворюючи конусоподібні з'єднання.

Після автоматичної пайки оператор вручну товстим жалом паяльника додатково лудить силові полігони на стороні 12В (вхід від акумулятора).

Далі проводять механічне складання силових частин. Силові транзистори VT3-VT4-VT7...VT10 потребують охолодження. На зворотній стороні MOSFET транзисторів наноситься тонкий шар теплопровідної пасти КПТ-8. Обов'язково встановлюються теплопровідні діелектричні термопрокладки, це запобігає короткому замиканню транзисторів між собою, оскільки, як згадувалося вище, радіатором для даних транзисторів служить корпус, до якого вони доторкаються до внутрішньої стінки алюмінієвого корпусу виробу.

Далі зібрану плату поміщають в ультразвукову ванну з розчинником уайт-спірит. Після цього плату сушать гарячим повітрям сушильною шафою РД 345218.

Далі проводять контроль якості пайки та відповідність номіналів та дотримання полярності ЕРЕ. Оператор перевіряє правильність номіналів резисторів за їх кольоровим маркуванням, перевіряє полярність електrolітичних конденсаторів та діодів. Далі перевіряють якість пайки на контактних площадках отворів, чи припой рівномірно розтікся по усій площині контактної площадки, на відсутність надлишку припою, здатного здійснити коротке замикання між припоєм і доріжками та адгезією припою до виводів ЕРЕ.

Далі плату підключають до лабораторного блоку живлення з обмеженням струму для безпечного першого запуску проектного виробу. За допомогою осцилографа перевіряють наявність і форму керуючих

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		69

імпульсів від ШІМ-контролерів DD1-DD2 на затворах польових транзисторів VT3-VT4-VT7...VT10. Потім підключають номінальне навантаження 400Вт і підстроювальним резистором R21 калібрують вихідну напругу на 230В та налаштовують поріг захисту від перевантаження резистором R13.

Останній етап виробництва це нанесення вологозахисного покриття. Щоб проєктований інвертор міг безпроблемно працювати в приміщеннях з підвищеним рівнем вологості повітря, готову і протестовану плату покривають електроізоляційним акриловим лаком АК-113. Лак наносять методом розпилення, при цьому роз'єми-клемики XP1 та XS1, підстроювальні резистори R13 і R21 попередньо заклеюють захисною малярною стрічкою, щоб лак не порушив їхні контакти. Після запікання лаку в печі друкований вузол вважають повністю готовим до встановлення в корпус.

Після створення друкованого вузла перейдемо безпосередньо до корпусу пристрою. Встановлення друкованого вузла у корпус, як правило, не вимагає спеціального обладнання, використовуємо електро- або механічну хрестову викрутку та металевий припой.

Процес зборки відбувається наступним чином:

- Закріпити до передньої стінки корпусу тримач плавкого запобіжника FU1 за допомогою гайки кріплення до стінки, вхідні клеми живлення 12В XP1 (2шт: чорний (-) та червоний (+)), перемикач живлення SA1, світлодіод наявності вихідного навантаження HL1 за допомогою термоклею або герметика.

- Закріпити до задньої стінки корпусу вихідну розетку 220В XS1 за допомогою гвинта кріплення до стінки корпусу.

- Закріпити Ш-подібний трансформатор TV1 до нижньої частини головного корпусу відповідно свого посадкового місця.

- Нанести тонким шаром термопасту на зворотні стінки транзисторів VT3-VT4-VT7..VT10, далі приклеїти термопрокладки по всій площині зворотних стінок до транзисторів.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		70

- Закріпити друкований вузол до головного тіла корпусу за допомогою поздовжніх пазів, де вузол заїжджає у корпус, при цьому постерігати, щоб термопрокладки на силових транзисторах не злетіли під час монтування вузла до корпусу.

- Припаяти один кінець провідників до клем тримача плавкого запобіжника FU1, вхідних клем живлення 12В ХР1, перемикача живлення SA1, світлодіода наявності вихідного навантаження HL1 та розетки 220В XS1 за допомогою паяльника з пропоєм ПОС-61 та флюсом АТІ-120.

- Припаяти другий кінець провідників від вищезгаданих елементів до друкованого вузла відповідно до свої посадкових місць, дотримуючись полярності клем живлення 12В.

- Закріпити задню та передню стінку до головного корпусу шістнадцятьма гвинтами (по вісім гвинтів на кожну стінку) за допомогою хрестової викрутки.

- Закріпити гумову ручку для переносу виробу до верхньої частини корпусу двома гвинтами.

- Закріпити чотири гумових ніжки до нижньої частини головного корпусу.

Після виконання всіх вищезазначених завдань, а також усіх випробувань та візуальних оглядів отримуємо зібране обладнання, яке буде повноцінним інвертором напруги, готовим до роботи.

### 1.5.8 Технічне обслуговування виробу

Технологія обслуговування проєктованого перетворювача змінної напруги 12В на постійну 220В поділяється на профілактичні (регулярні) заходи та ремонтно-діагностичні роботи.

Правила безпеки перед початком технічного обслуговування (ТО). Навіть після відключення інвертора від акумулятора 12В, високовольтні електролітичні конденсатори на стороні 220В можуть зберігати небезпечний для життя заряд тривалий час. Перед будь-якими маніпуляціями необхідно

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		71

примусово розрядити конденсатори, наприклад, через потужний резистор номіналом 2 кОм. В жодному разі не замикати виводи конденсаторів пінцетом, щоб не пошкодити металізацію плати.

1) Перший етап виконується для запобігання виходу приладу з ладу, особливо якщо інвертор експлуатується в жорстких умовах.

Після тривалої експлуатації проєктованого виробу необхідно почистити друкований вузол від пилу та вологи. Пилюка, що накопичується на платі, у поєднанні з вологою стає струмопровідною. Для високовольтної частини це прямий шлях до поверхневого пробою текстоліту. Видалення пилу здійснюється стисненим повітрям, наприклад компресором з вологовідділювачем під тиском 2 атмосфер. Локальні забруднення змиваються жорсткою щіткою з використанням ізопропілового спирту.

Після чистки вузла необхідно провести ревізію системи охолодження. Силкові транзистори виділяють багато тепла. З часом термопаста між транзистором і радіатором пересихає, втрачаючи теплопровідність. Один раз на один рік, залишки старої термопаста необхідно видалити розчинником. Нанести новий тонкий шар якісної термопаста. Одночасно перевірити цілісність діелектричних термопрокладок – вони не повинні мати проколів чи тріщин.

2) Другий етап проводиться якщо пристрій припинив працювати та вийшов з ладу. Якщо інвертор перестав працювати або йде в захист, проводиться глибока апаратна діагностика.

Спочатку необхідно перевірити плавкий запобіжник, це найпростіший та найшвидший спосіб виявити несправність інвертора напруги. Плавкий (скляний) запобіжник можна перевірити як візуально, так і мультиметром. Якщо при огляді запобіжника не видно провідника, який з'єднується з двома контактами запобіжника, або видно обрив даного провідника, це означає що провідник всередині запобіжника перегорів та, відповідно, запобіжник вийшов з ладу, в такому випадку необхідно замінити згорений запобіжник на новий. Щоб перевірити мультиметром запобіжник необхідно перемикач

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		72

тестера перевести в режим «продзвонки» та під'єднати контакти тестера до контактів запобіжника. Якщо мультиметр видає звуки, або на дисплеї зображено значення запобіжника то запобіжник справний, якщо не видає ніяких звуків та не виводиться значення на дисплей мультиметра, то це означає, що запобіжник вийшов з ладу і необхідно його замінити.

Якщо пристрій вмикається, але працює нестабільно, за допомогою тепловізора або пірометра шукають аномально гарячі зони, наприклад, локальний перегрів одного транзистора в плечі свідчить про проблему з його драйвером керування.

Також при несправності виробу необхідно перевірити електролітичні конденсатори.

Спочатку потрібно провести візуальний огляд. Якщо на верхній частині електролітичного конденсатора помітна випукла поверхня, це означає, що електроліт у середині корпусу закипів, перетворився на газ і створив надмірний тиск. Такий конденсатор необхідно терміново замінити, бо з часом він може вибухнути, і це може негативно вплинути на інші ЕРЕ.

Якщо візуально конденсатори виглядають нормально, без здутих верхівок, тоді потрібно скористатися вимірювачем еквівалентного послідовного опору. (ESR-метр) Вимірювання можна проводити без випаювання. Якщо ESR завищений, конденсатор підлягає безумовній заміні, навіть якщо його ємність в нормі.

3) Третій етап складається з ремонту та заміни несправних радіоелементів. Оскільки плата використовує виключно вивідний монтаж з масивними мідними полігонами, заміна деталей вимагає потужного інструменту.

Спочатку необхідно демонтувати несправні елементи. Для цього треба використовувати паяльник потужністю не менше 60 Вт, оскільки широкі полігони 12В швидко відводять тепло. Температура жала паяльника при демонтажі ЕРЕ повинна складати близько 360 – 380 °С. Також дозволяється використовувати паяльний фен, температура потоку повітря при демонтажі

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		73

ЕРЕ приблизно така ж, як у паяльника. Для звільнення металізованих отворів від припою застосовується мідна оплітка, просочена флюсом. Категорично забороняється витягувати компоненти силою, щоб не вирвати металізацію всередині отвору та не пошкодити друковані провідники.

Перед встановленням нової деталі отвір повинен бути повністю очищений. Пайку виконують припоєм ПОС-61 з каніфоллю або флюсом при температурі жала близько 320-340°C. Паяний шов повинен бути блискучим і мати форму правильного конуса.

Якщо струмове перевантаження випалило частину доріжки, то її можна відновити шляхом зачистки маски до міді на ділянці 5 мм з обох боків від обриву. Зверху потрібно накласти і припаяти монолітну мідну жилу відповідного перерізу, тобто 1,5 або 2,5 мм<sup>2</sup>.

Після ремонту друкованого вузла залишки флюсу необхідно обов'язково змити спирто-бензиною сумішшю або очисником для плат. Після цього відремонтовану ділянку необхідно покрити в 2 шари акриловим ізоляційним лаком АК-113 для відновлення захисту від вологи, пилу, механічного пошкодження та впливу навколишнього середовища друкованого вузла проєктованого інвертора напруги.

### 1.5.9 Розрахунок споживаної потужності

Для розрахунку споживаної потужності інвертора напруги необхідно врахувати напругу та струм, які протікають через виріб:

Формула для розрахунку електричної потужності:

$$P = V \times I \quad (1.29)$$

$$P = 220 \times 1,8 = 396 \text{ Вт}$$

де  $P$  – електрична потужність;

$V$  – напруга живлення;

$I$  – струм споживання.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		74

Формула для розрахунку споживаної потужності (енергії) за один день:

$$E = P \times t \quad (1.30)$$

$$E = 396 \text{ Вт} \times 12 \text{ год} = 4,752 \text{ кВт/год}$$

де  $E$  – споживана енергія;

$t$  – рекомендований час безперервної роботи (в день)

За один місяць:

$$E = 396 \text{ Вт} \times 360 \text{ год} = 142,560 \text{ кВт/год}$$

За один рік:

$$E = 396 \text{ Вт} \times 5\,913 \text{ год} = 2\,341,548 \text{ кВт/год}$$

Таким чином було розраховано споживану потужність проектного інвертора напруги з такими результатами:

$$E_{\text{год}} = 4,752 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{міс}} = 142,560 \text{ кВт};$$

$$E_{\text{рік}} = 2\,341,548 \text{ кВт}.$$

Ці показники є доволі невеликими, тому що даний пристрій є малопотужним виробом, який може жити різні малопотужні побутові пристрої. Тільки за один місяць щоденного використання виробом протягом усіх днів по 12 годин безперервної роботи виріб буде споживати всього 4,752 кВт (норма споживання електроенергії в місяць становить 100 кВт/год).

## 1.6 Висновки до розділу 1

У даному розділі було проведено аналіз сучасних аналогів інверторів напруги, що дозволило визначити актуальність розробки нового пристрою з поліпшеними технічними та функціональними характеристиками. На основі результатів аналізу були окреслені основні вимоги та сформовано структурну

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		75

схему майбутнього виробу. Проведені розрахунки основного вузла принципової електричної схеми.

Також було здійснено компоновку корпусу виробу, місця кріплення друкованого вузла та інших елементів інвертора, описано детально призначення кожного елемента корпусу виробу.

Виконано обґрунтований вибір елементної бази пристрою, зокрема транзисторів, ШІМ-контролера, запобіжника, трансформатора, терморезистра, змінних та постійних резисторів, керамічних та електролітичних конденсаторів, роз'ємів, перемикача, діодів і підібрано радіатори тепловідводу для елементів які можуть перегріватись під час активної роботи приладу. Проведено розрахунок параметрів друкованого монтажу, Описано про метод встановлення ЕРЕ на друковану плату. Здійснено опис про метод виготовлення друкованої плати та корпусу інвертора. Здійснено опис технології складання друкованого вузла. Здійснено опис технічного обслуговування інвертора та виявлення несправності у разі неполадки. Здійснено оцінку технологічності виробу.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		76

## 2 Спеціальна частина

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання

Використання сучасних САПР дозволило реалізувати концепцію віртуального прототипування, мінімізувати помилки взаємного розташування компонентів і суттєво прискорити підготовку до виробництва виробу.

Для проєктування друкованої плати та вузла перетворювача постійної напруги 12В на змінну 220В використовувалось професійне програмне середовище Altium Designer – це професійна система автоматизованого проєктування електронних засобів, яка є світовим лідером у сфері розробки друкованих плат РСВ. Програма надає єдине наскрізне середовище для повного циклу створення електроніки: від ідеї та креслення схеми до генерації виробничих файлів.

Наступним програмним забезпеченням, яке допомогло у створенні корпусу для проєктованого інвертора напруги це Autodesk Fusion 360. Fusion 360 – це хмарна САД-платформа для 3D-моделювання, промислового дизайну та проєктування електроніки. У даному ПЗ багато можливостей для 3D-моделювання (створення твердотільних, поверхневих, параметричних та полігональних моделей), проєктування електроніки (повноцінний інструментарій для схемотехніки та трасування друкованих плат), генерація керуючих програм для верстатів з ЧПУ (фрезерування, токарна обробка), 3D-друку, спільна робота над проєктами в реальному часі та збереження даних у хмарі.

### 2.1.1 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer

Процес створення друкованого вузла проєктованого інвертора напруги опишемо чотирма етапами:

1) Створення бібліотеки умовних графічних позначень (Schematic Library).

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		77

- 2) Створення бібліотеки посадкових місць EPE (PCB Library).
- 3) Створення схеми електричної принципової (Schematic).
- 4) Створення друкованої плати (PCB). Розміщення елементів та автоматизоване трасування електричних провідників.

1. Було розпочато зі створення бібліотеки умовних графічних позначень, оскільки це фундаментальний етап розробки будь-якого електронного пристрою в Altium Designer. Правильно створені компоненти гарантують відсутність помилок на етапі трасування. Усі умовно-графічні позначення створені згідно ДСТУ.

Спочатку було створено проєкт, який складатиме усі етапи виготовлення інвертора. Для цього необхідно у головному меню обрати File → New → Project → PCB Project.

Далі у створеному проєкті створено бібліотеку умовно-графічних позначень. Встановлено крок координатної сітки 1 мм.

Створення умовно-графічного позначення будь-якого компонента розпочато з виводів (Pin), один з виводів поміщено у центр координат для уникнення збою при з'єднанні двох бібліотек. Встановлено параметр Designator 1 для виводу, який розміщено у центрі координат та Designator 2 для другого виводу резистора.

Наступним етапом було створення графічного контура елемента. Обрано інструмент Line, за допомогою якого нарисовано прямокутник розмірами 10×4 (Д×Ш). Обов'язково щоб бічні лінії контура резистора дотикались до лінії виводу.



Рисунок 2.1 – Готове умовне графічне позначення резистора

Далі було заповнено атрибути та властивості компонента. Вказано умовне графічне позначення резистора, в кінці якого поставлено знак запитання (R?).

На цьому етапі створення умовного графічного позначення резистора завершено. Аналогічним чином створюються й інші елементи схеми у Schematic Libraries.

Завершальним етапом було проведення перевірки усіх компонентів бібліотеки за допомогою інструмента Library Component Rule Check. У відповідному вікні було активовано перевірку на відсутність критичних помилок, таких як дублювання пінів або відсутність прив'язки.

2) Наступним етапом було створення бібліотеки посадкових місць EPE.

Встановлено крок координатної сітки 2,5 мм. Додано монтажні отвори. Обрано необхідні параметри згідно даташиту радіоелемента та нарисовано шовкографією габарити посадкового місця з розмірами 10×4 (Д×Ш).

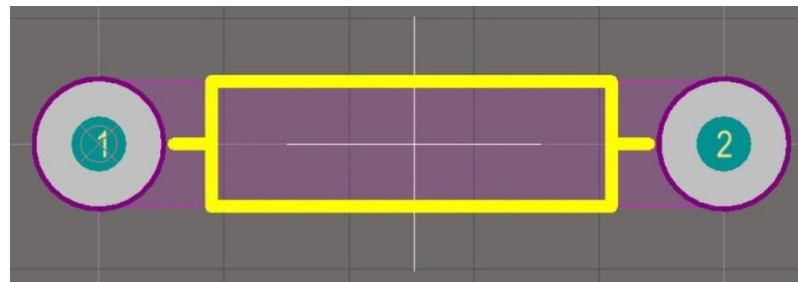


Рисунок 2.2 – Посадкове місце резистора з 3D елементом

Щоб перейти в режим 3D необхідно натиснути клавішу «3».

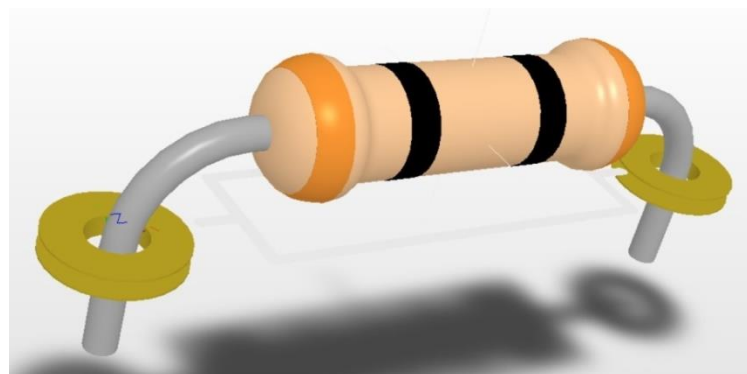


Рисунок 2.3 – 3D вигляд посадкового місця резистора

Виводи 3D моделі чітко розміщені у центрі монтажних отворів, висота елемента над платою складає 1 мм.

Завершальним етапом стало проведення перевірки усіх компонентів бібліотеки PCB Schematic за допомогою інструмента Component Rule Check.

Останнім етапом створення бібліотек елементів – додавання до бібліотеки УГП посадкові місця з бібліотеки посадкових місць елементів.

### 3) Третій етап – створення схеми електричної принципової (Schematic)

Для побудови схеми проєктованого інвертора напруги в програмному середовищі Altium Designer застосовано інструмент Schematic Editor, який дозволяє розміщувати необхідні елементи, поєднувати їх провідниками, а також додавати підписи, примітки та інші графічні елементи. Після відкриття робочої області було виконано налаштування координатної сітки. Встановлено сітку з кроком 2.5 мм, що відповідає вимогам до правильного компонування вивідних (ТНТ) елементів на схемі: усі об'єкти мають бути розміщені на вузлах сітки, кратних 2.5 мм. Наступним етапом було розміщення на принциповій схемі усіх необхідних компонентів. Всі елементи, що входять до складу електричної схеми, були додані із попередньо створеної бібліотеки. Після розміщення компонентів було виконано їх з'єднання за допомогою інструмента Place → Wire. Після чого виконано імпорт проєкту у документ друкованої плати.

Процес з'єднання елементів здійснювався з дотриманням логіки побудови схеми, (рис. 2.4). Після завершення з'єднань виконано автоматичне нанесення нумерації позицій елементів.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		80

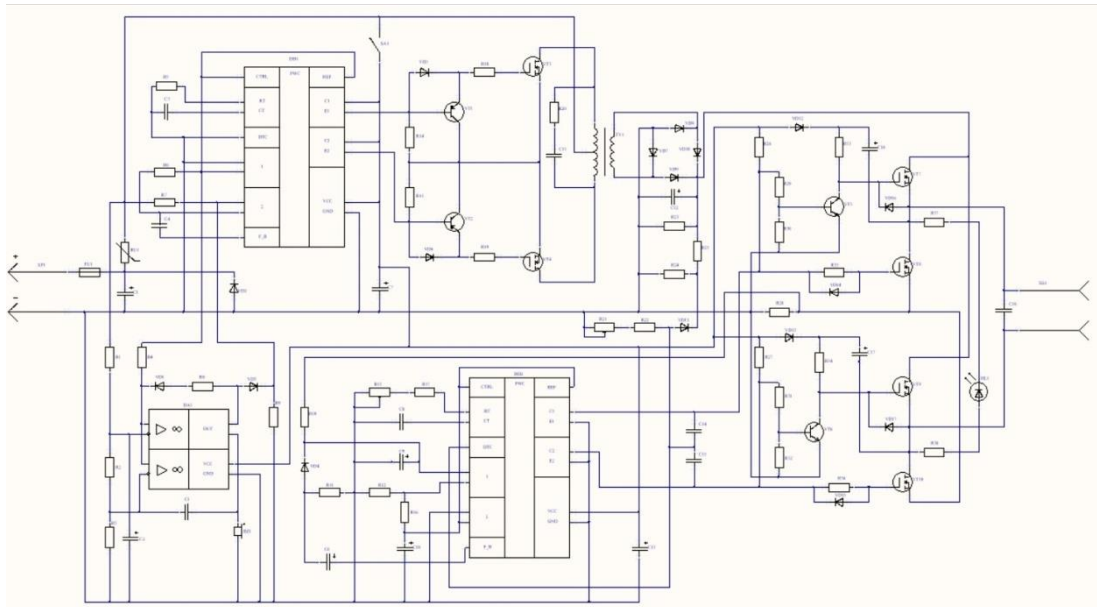


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова, розроблена в середовищі Altium Designer

4) Наступною стадією стала розробка друкованої плати. Для цього в середовищі Altium Designer було відкрито редактор РСВ. Перш ніж перейти до розміщення елементів, необхідно було сформувати робочу область плати. У редакторі РСВ була задана прямокутна область з розмірами 374 мм по довжині та 124 мм по ширині.

З метою зручності під час компонування плати було встановлено сітку з кроком 2,5 мм, що забезпечує кратність відстаней між виводами компонентів.

Після цього здійснено налаштування шарів друкованої плати FR-4, встановлено кількість шарів 2, товщину плати 1.5 мм та товщину фольги 35 мкм.

Розташування елементів здійснювалося вручну, з урахуванням функціонального поділу пристрою та прагнення до мінімізації довжини з'єднань. На рисунку 2.5 зображено зовнішній вигляд плати після завершення етапу компонування.

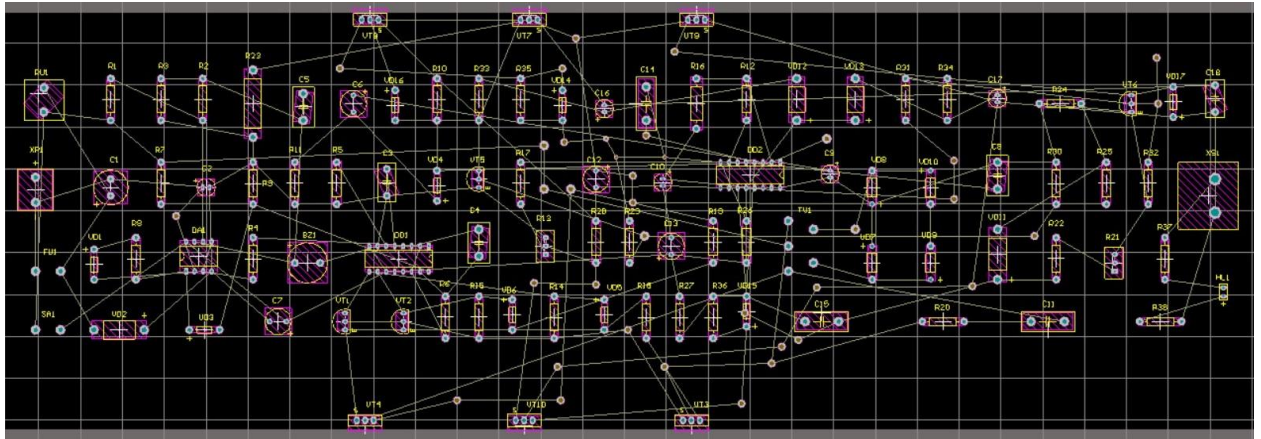


Рисунок 2.5 – Вигляд плати після розміщення елементів

Перед початком трасування друкованих провідників було виконано налаштування проєктних правил. У меню Rules відкрито вікно PCB Rules and Constraints Editor, де були встановлені параметри відповідно до вимог другого класу точності, обраного для даного проєкту.

Процес трасування провідників розпочався з автоматичного прокладання, яке згодом було частково скориговано вручну. Для запуску автотрасування застосовано команду Auto Route → All → Route All.

У результаті автоматичного режиму трасування програма самостійно виконала прокладання основних електричних з'єднань згідно з створеною принциповою схемою. У тих зонах, де необхідно було дотриматися заданої ширини доріжок або забезпечити симетричність трас, застосовувалися засоби ручного редагування маршрутів.

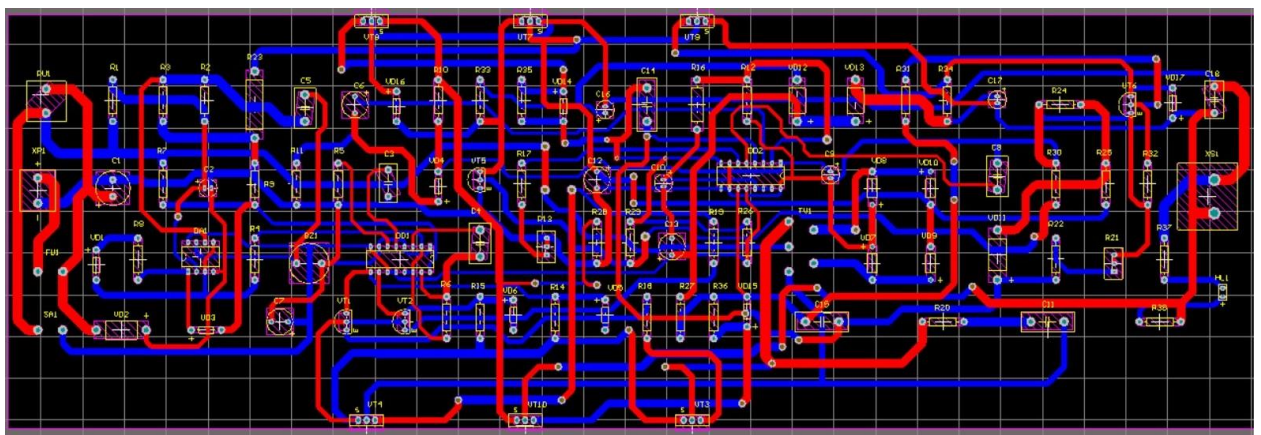


Рисунок 2.6 – Проведені доріжки на друкованій платі виробу

Незважаючи на доволі широкі друковані провідники, для проєктованого інвертора напруги необхідно додатково нижній та верхній шар покрити мідними полігонами, Це забезпечить кращу надійність роботи на великих струмах та запобігає уникненню можливого перегорання друкованих провідників. Для цього обрано інструмент Place → Polygon Pour.

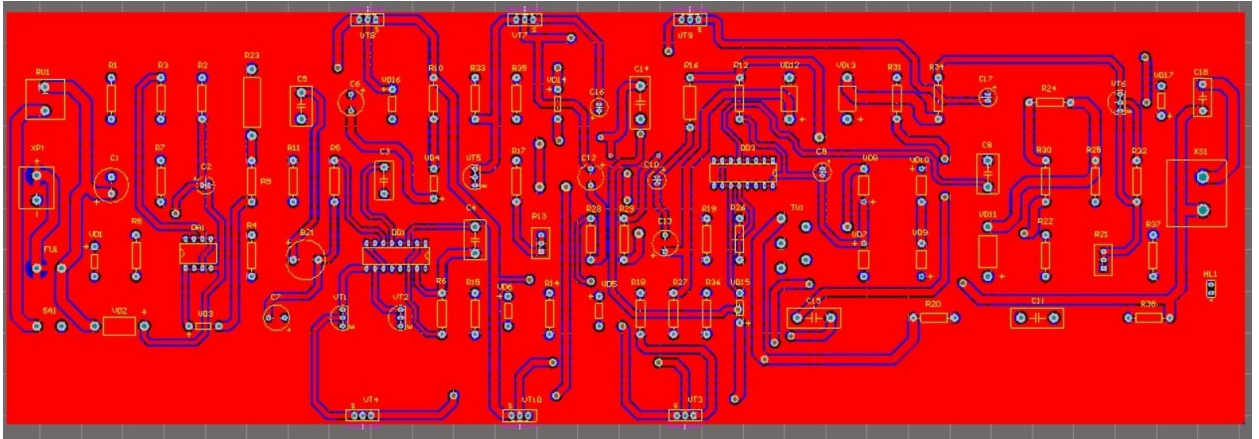


Рисунок 2.7 – Шар Top друкованої плати, покрити мідним полігоном

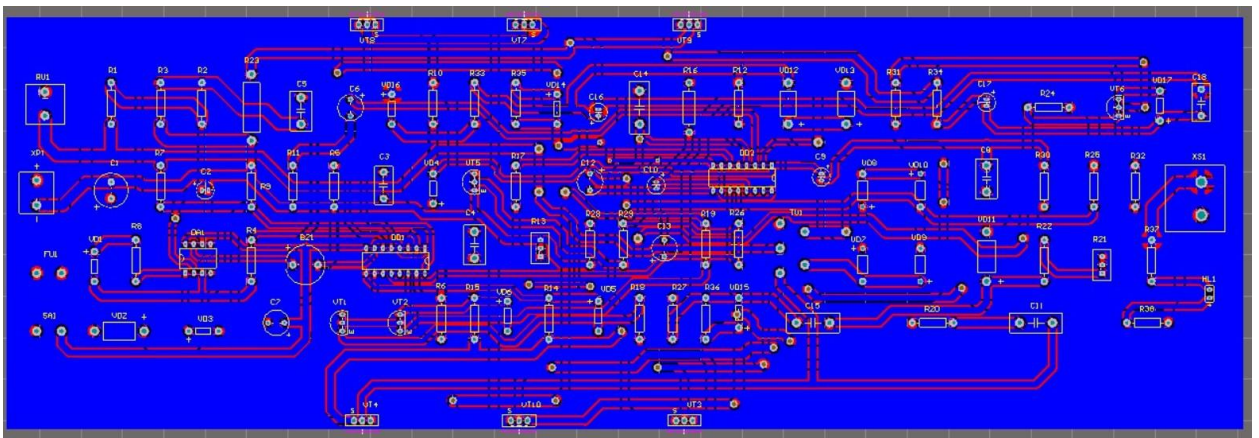


Рисунок 2.8 – Шар Bottom друкованої плати, покрити мідним полігоном

Після завершення проведення мідних полігонів була проведена перевірка відповідності встановленим правилам за допомогою Design Rule Check, що підтвердила правильність прокладки з'єднань та відсутність критичних помилок.

На завершальному етапі активовано 3D-перегляд друкованої плати на рисунку 2.9 для оцінки правильності розміщення компонентів і перевірки посадкових місць.

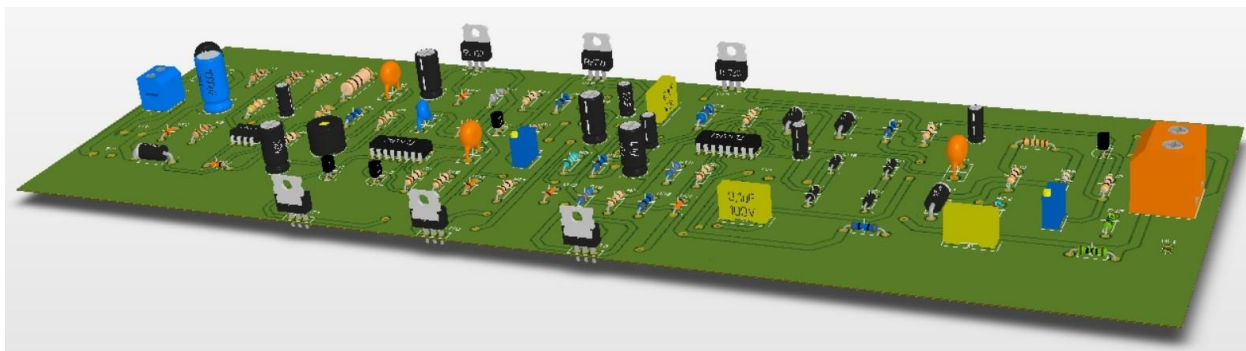


Рисунок 2.9 – 3D модель друкованого вузла інвертора напруги 12/220В

### 2.3 Створення корпусу у середовищі Autodesk Fusion 360

Корпус інвертора напруги складається з п'яти частин:

- 1) Основне тіло;
- 2) Передня стінка;
- 3) Задня стінка;
- 4) Чотирьох нижніх стійок;
- 5) Ручки для перенесення виробу.

1. Слід розпочати моделювання корпусу з основного тіла, адже саме у ньому розміщено друкований вузол перетворювача.

Як і в будь-якій CAD-програмі, щоб отримати 3D модель необхідно накреслити ескіз, тобто задати розміри майбутнього корпусу. Для цього вибираємо одну з заданих площин (в даному випадку площина XY) та натискаємо кнопку Sketch.

З'явиться перпендикулярний вигляд на дану площину, де на верхній панелі з'являться інструменти ескіза. Вибираю інструмент прямокутник (Square) і обов'язково, щоб центр прямокутника співпадав з точкою початку координат. Далі проставлено розміри прякутника: 132 мм по ширині та 100 мм по висоті. Щоб майбутнє тіло виглядало більш стильнішим було обрано

інструмент Chamfer (фаска) по усім кутам прямокутника. Також додатково проставлено розміри відносно центру координат, щоб ескіз був повністю визначений. Це дуже важливий етап, тому що ескіз повинен бути повністю закріпленим та нерухомим, щоб при перенесенні корпусу для 2D креслення та в подальшій збірці виробу не виникло зайвих проблем. Детальніше про створення ескізу зображено на рис. 2.10.

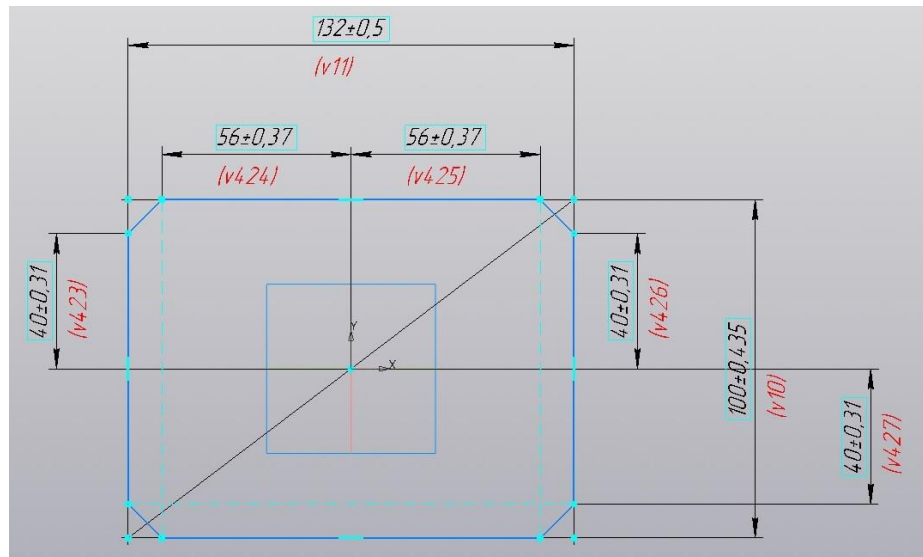


Рисунок 2.10 – Створення ескізу корпусу виробу

Далі, вийшовши з режиму ескіза було виконано операцію Extrude (видавлювання), задавши симетрично відстань на 500 мм.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		85

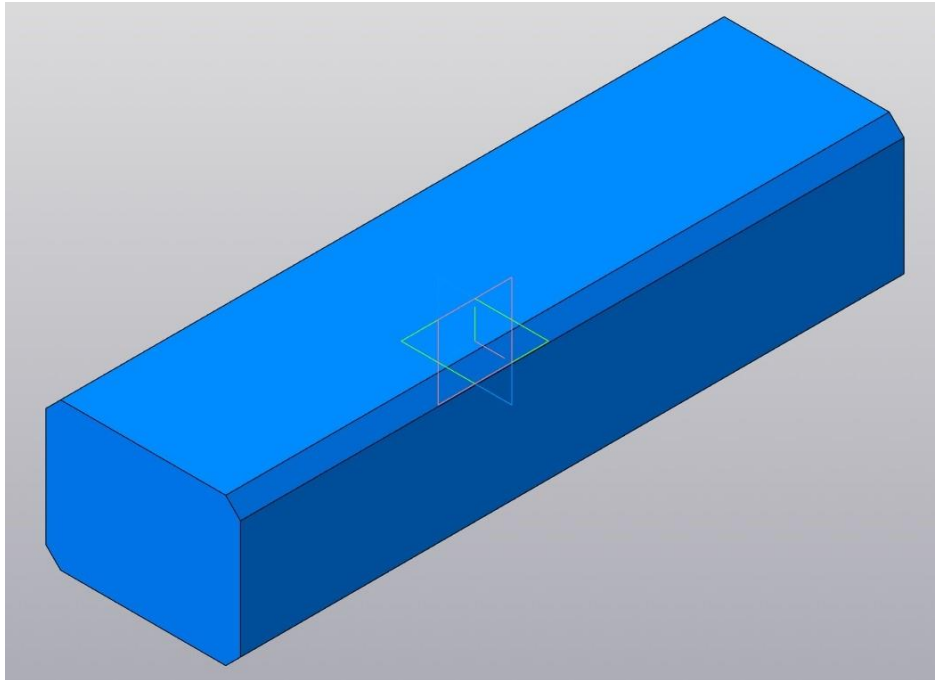


Рисунок 2.11 – Результат операції Extrude

Щоб зробити майбутній корпус пустотілим використано операцію Shell (оболонка), обрано напрямлення товщини стінки всередину корпусу та саму товщину 2 мм.

Наступним етапом стало створення пазів на одній внутрішній частині бокової стінки для кріплення друкованого вузла. Для цього був накреслений відповідний ескіз з необхідними розмірами (рис. 2.11) та виконано операцію Extrude.

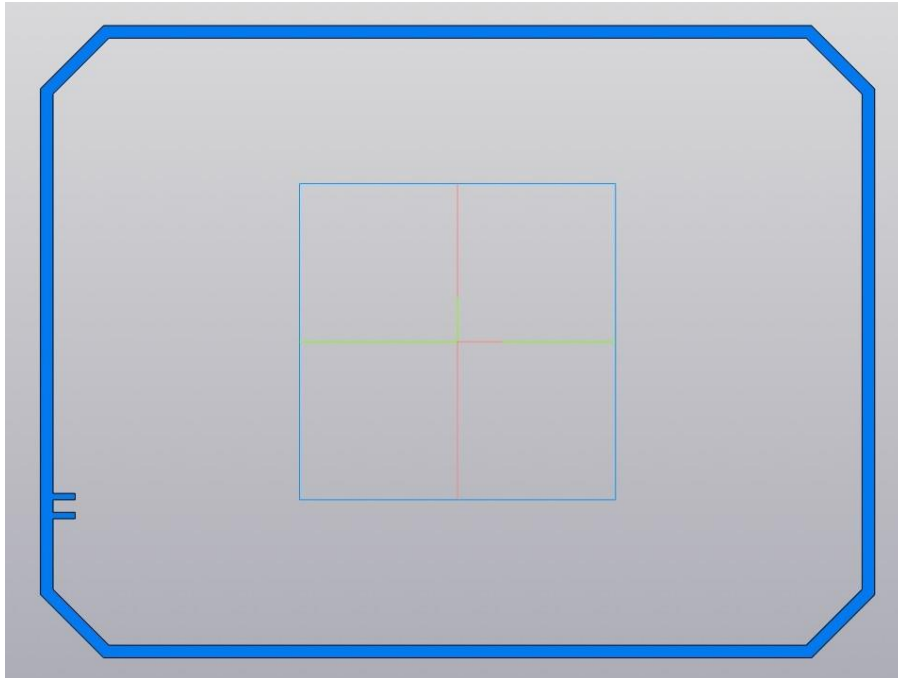


Рисунок 2.12 – Створення паза на одній з стінок корпусу

Щоб не створювати новий ескіз для іншого паза кріплення вузла, було використано операцію Mirror (відзеркалення).

Оскільки друкований вузол проєктованого інвертора напруги має великі габарити по довжині, з часом друкований вузол може мати внутрішній вигин, що негативно вплине на нього, Тому було створено на нижній частині корпусу сім ніжок підтримки вузла, створено отвори у цих ніжках (для кріплення пластини діелектрика, щоб уникнути випадкового замикання друкованого вузла до металевого корпусу виробу).

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

*СВВ 2.008.001 ПЗ*

Арк.

87

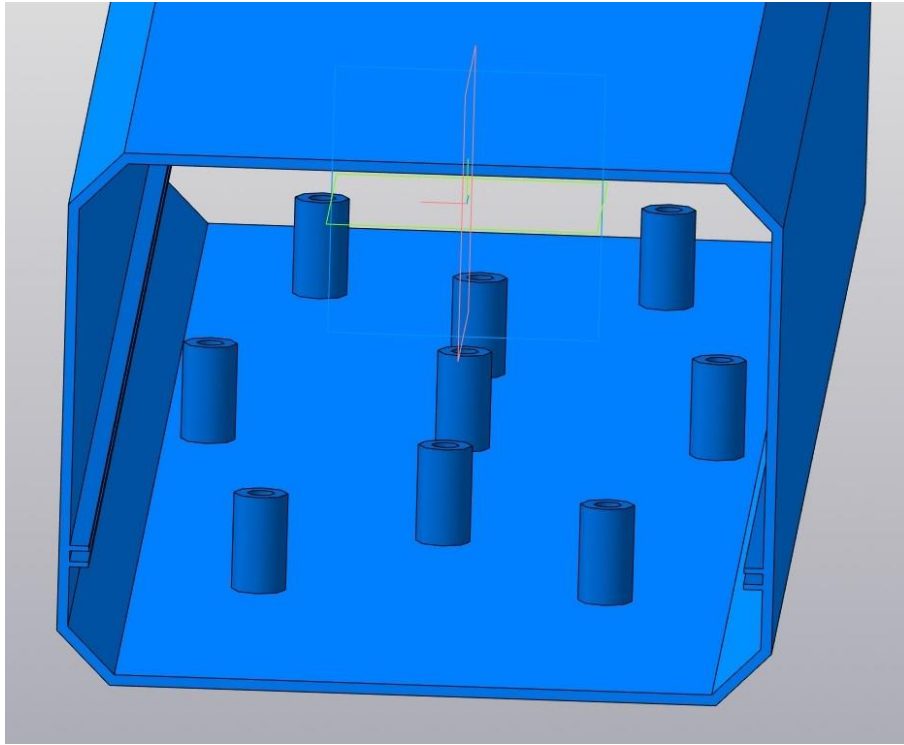


Рисунок 2.13 – Створення підтримки для друкованого вузла

Далі біля пазів кріплення вузла було створено додаткові стінки для щільного прилягання до бокових стінок силових MOSFET транзисторів. Встановлено розміри згідно розмірів транзисторів. Також за допомогою операції Mirror відзеркалено одну стінку на протилежну частину.

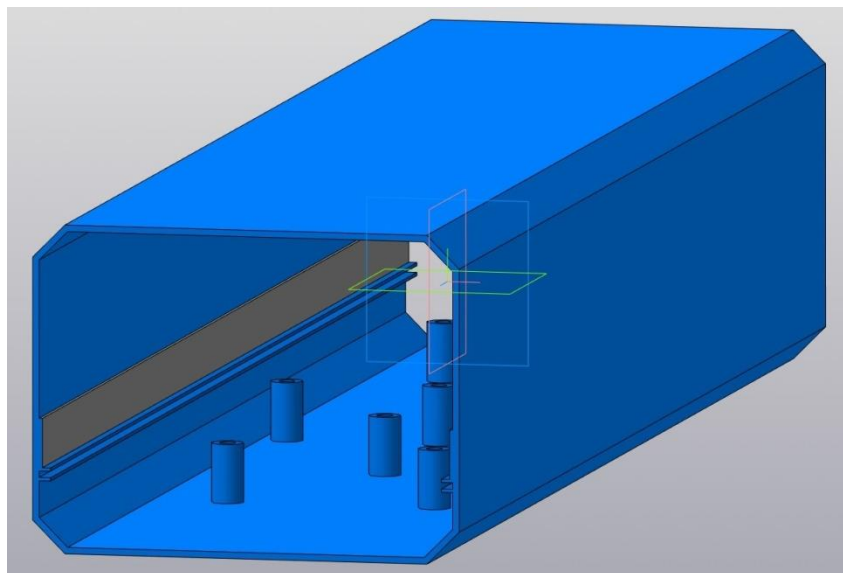


Рисунок 2.14 – Створення додаткових стінок для щільного прилягання транзисторів

Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата

*СВВ 2.008.001 ПЗ*

Арк.

88

Трансформатор для проєктованого виробу кріпиться на задній частині корпусу. Створено місце для його кріплення з отворами.

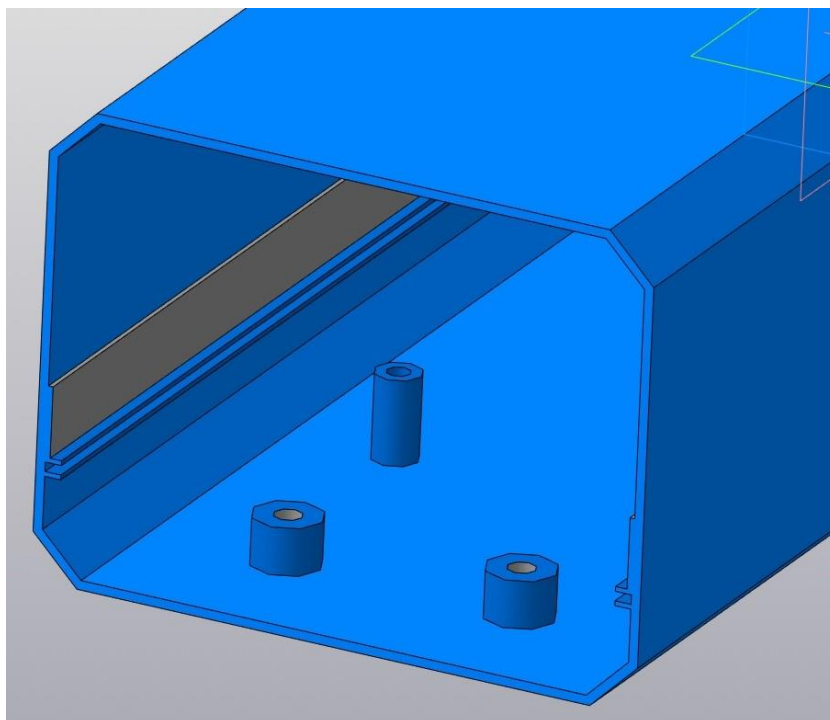


Рисунок 2.15 – Створення посадкового місця для кріплення трансформатора

Щоб передня та задня стінки щільно прилягали до корпусу було створено додаткові потовщення на торцях корпусу з отворами для кріплення стінок.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		89

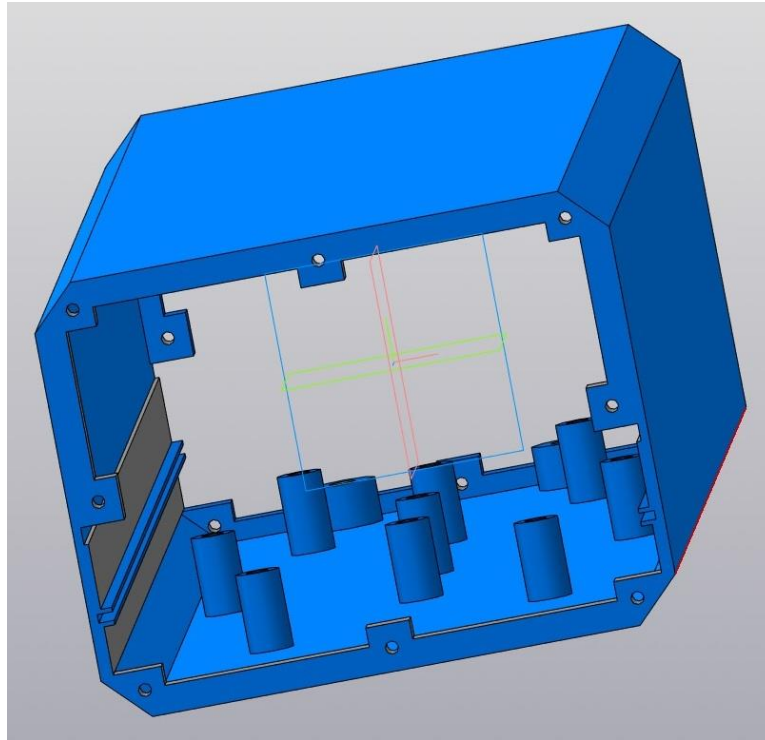


Рисунок 2.16 – Додаткові потовщення на торцях головного корпусу для монтажу стінок

Далі створено додаткові ребра на бокових та верхній частині корпусу для відводу тепла.

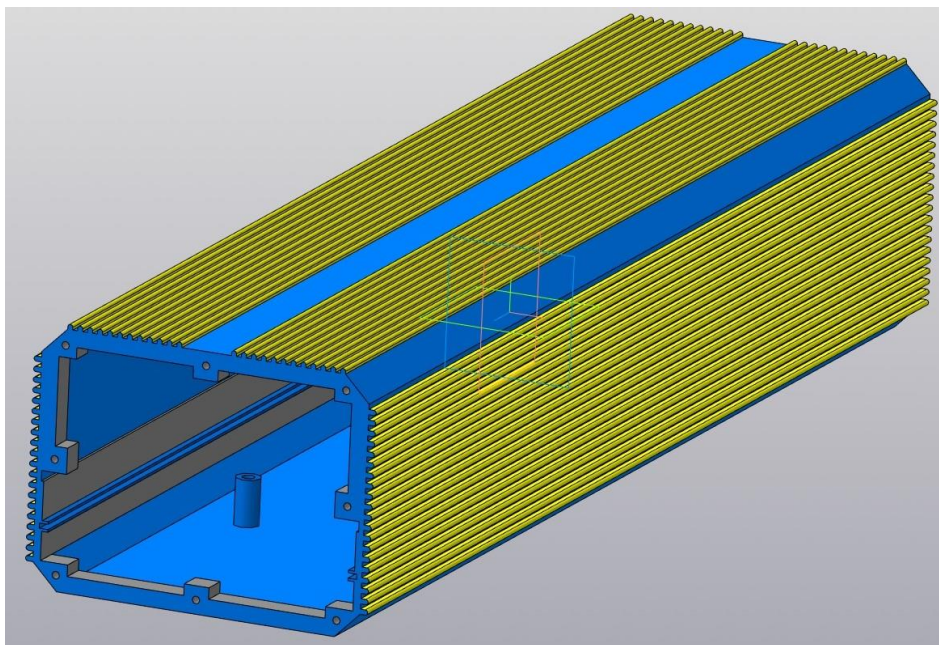


Рисунок 2.17 – Створення ребер охолодження на бокових та верхніх стінках корпусу проєктованого інвертора напруги

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		90

Щоб пристрій зручно переносити, на верхній частині корпусу було створено місце для кріплення ручки.

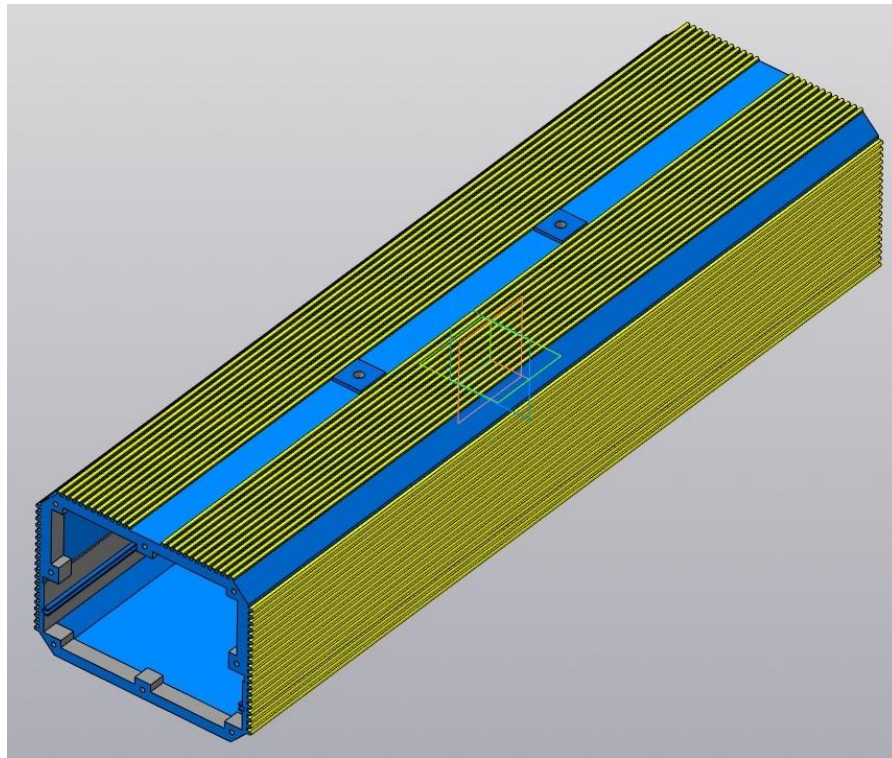
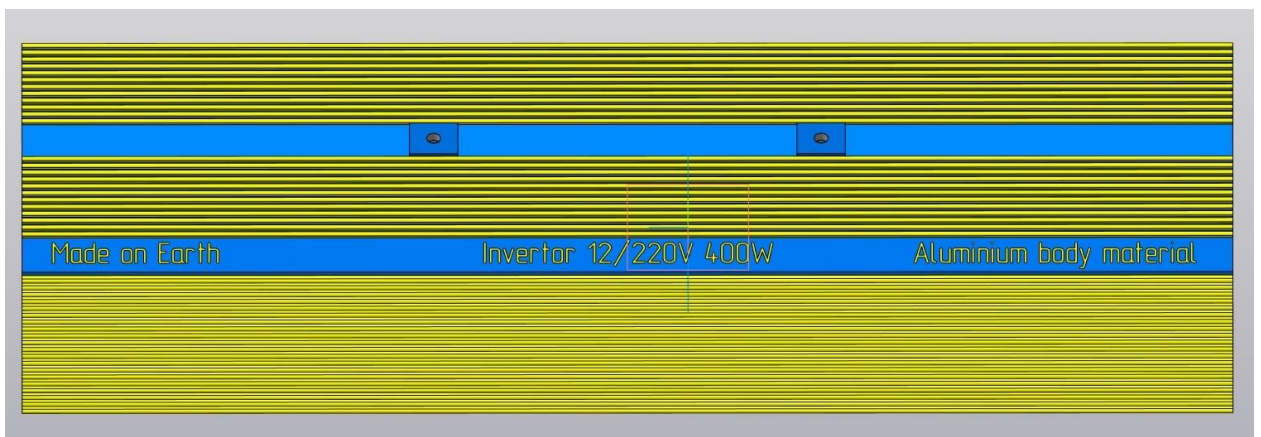


Рисунок 2.18 – Створення місця для кріплення ручки для переносу виробу

Щоб корпус виглядав досконаліше, додатково нанесено надписи на верхніх частинах фаски корпусу. На одній стороні фаски є три надписи: «Made on Earth», «Invertor 12/220V 400W» та «Aluminium body material». На зворотній частині зроблено надпис «Designed by Stadnyk», яка підтверджує авторську роботу корпусу (рис. 2.19).



					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		91

Рисунок 2.20 – Надписи на верхній лівій стороні друкованого тіла «Made on Earth», «Invertor 12/220V 400W» та «Aluminium body material»

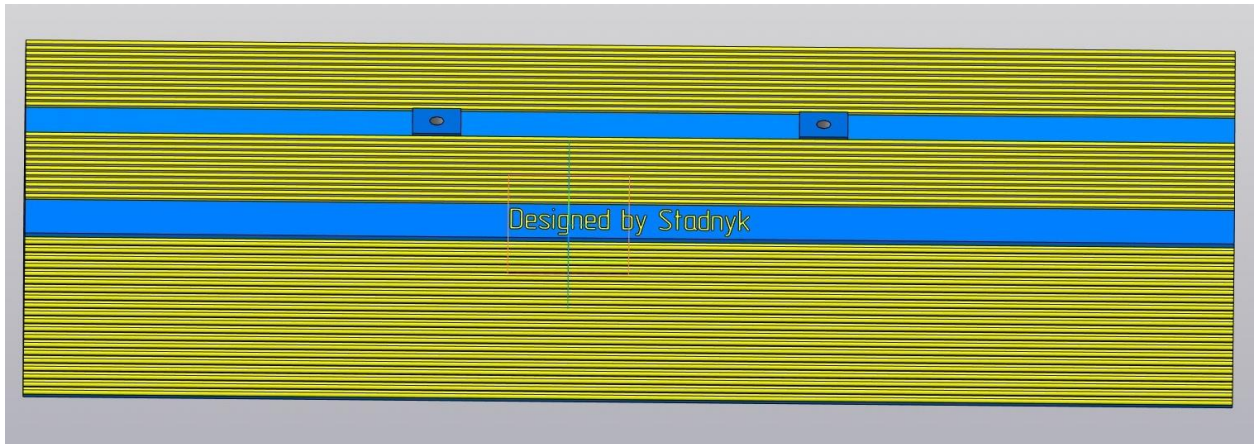


Рисунок 2.20 – Надпис на верхній правій стороні друкованого тіла «Designed by Stadnyk»

На цьому побудова основного тіла корпусу інвертора напруги завершено.

Побудова задньої стінки корпусу перетворювача напруги 12/220В.

Був накреслений ескіз згідно габаритів основного тіла. Створено отвори для кріплення стінки до основного тіла. Створено отвори діаметром 7,5 мм для вихідних клем живлення приладу від акумулятора 12В «+» та «-», отвір діаметром 18 мм з направляючою для тримача плавкого запобіжника для захисту від випадкової зміни полярності до джерела живлення, отвір діаметром 5 мм для світлодіода наявності вихідного навантаження та прямокутний виріз розмірами 18,5×13 (В×Ш) мм для перемикача живлення виробу. Також зроблено надписи «OUT +» біля клем живлення позитивної полярності, «OUT -» біля клем негативної полярності, «PWR» біля світлодіода індикації, «Fuse» біля тримача плавкого запобіжника, «ON» та «OFF» біля прямокутного вирізу для кріплення перемикача живлення виробу. Детальніше по задню стінку корпусу зображено на рис. 2.21.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		92

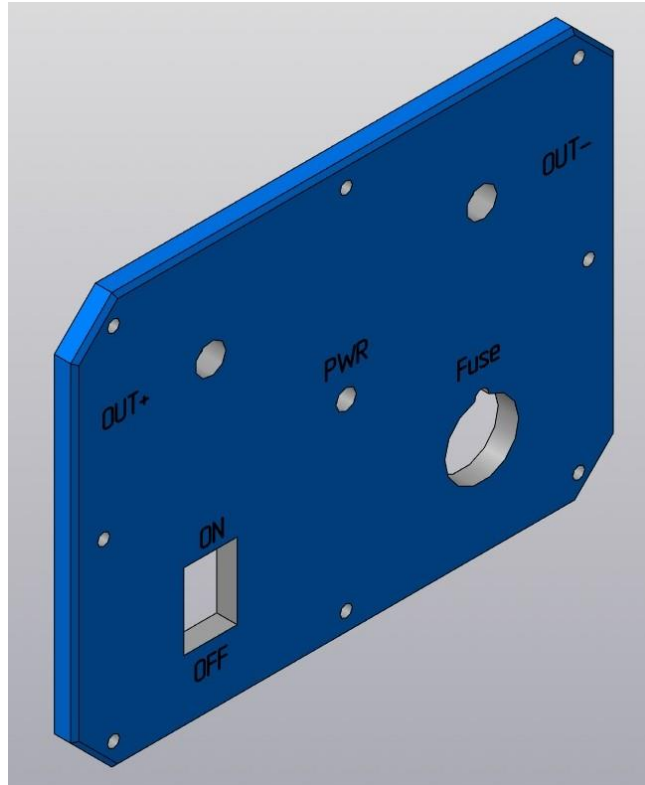


Рисунок 2.21 – Вигляд задньої стінки корпусу

Побудова передньої стінки корпусу перетворювача напруги 12/220В.

Габаритні розміри передньої стінки корпусу аналогічні по відношенню до задньої стінки. По центру даної стінки розміщений отвір діаметром 43 мм для кріплення вихідної розетки. Також зроблений виріз глибиною 2 мм для розетки згідно її габаритним розмірам 81×81 мм з радіусом заокругленням кутів 13 мм. Детальніше про передню стінку корпусу зображено на рис. 2.22.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		93

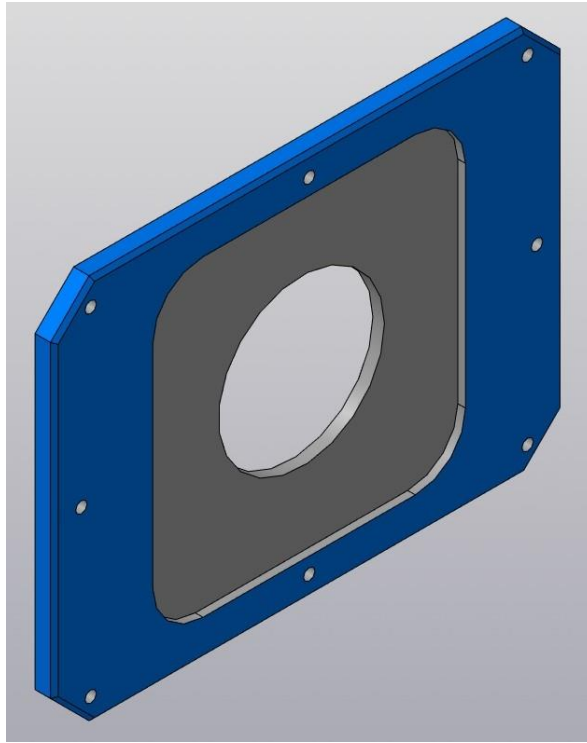


Рисунок 2.22 – Вигляд передньої стінки корпусу

Побудова нижніх стійок для нижньої частини головного тіла.

Дані стійки призначені для кращої стійкості на поверхні, де знаходиться даний виріб.

На площині XZ створено ескіз, у якому накреслено коло діаметром 20 мм. Далі використовувався інструмент Offset Plane (зміщена площина) на відстані 20 мм від площини XZ. На зміщеній площині створено ескіз з колом діаметром 30 мм. Далі використовувався інструмент Loft, у якому необхідно вказати два накреслених кола щоб отримати необхідне тіло.

Далі було застосовано операцію Filled (заокруглення) верхнього та нижнього гострого кута для реалістичнішого вигляду. Діаметр заокруглення верхньої сторони з більшим радіусом кола складає 2 мм, нижнього 1 мм. Далі було накреслено на верхній частині стійки коло діаметром 6 мм та виконано операцію Extrude зі значенням 5 мм. Після цього створено новий ескіз на координатній площині XY де накреслено прямокутний трикутник зі сторонами: менший катет – 0,25 мм, більший катет – 0,3 мм, гіпотенуза – 0,4 мм. Далі на верхній частині майбутньої різьби встановлено спіраль,

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		94

діаметром 6 мм та кількістю витків 10 шт. Далі було застосовано інструмент Sweep (елемент по траєкторії), у якому об'єкт січення обрано накреслений трикутник, а траєкторією служить спіраль.

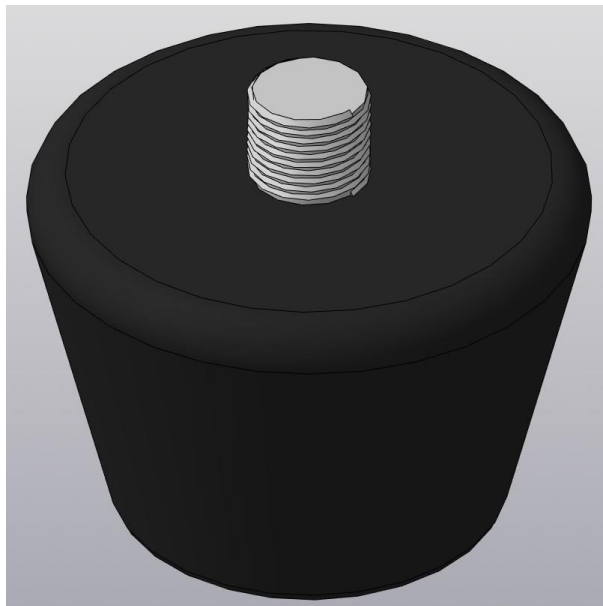


Рисунок 2.23 – Вигляд зробленої стійки

На даному етапі створення нижньої стійки для корпусу завершено.

#### Виготовлення ручки для переносу виробу

Ручка створювалась наступним чином: на площині XZ у режимі ескізу накреслено два прямокутника з відстанню 160 мм один від одного. У центрі даних прямокутників створено отвори для кріплення ручки до верхньої частини корпусу діаметром 6 мм. Використано інструмент Extrude на відстань 5 мм. На боковій частині одного з прямокутників створено ескіз з прямокутником, який розміщений по центру бокової частини, розмірами 15×3 мм (Ш×В). Далі на площині ZY було накреслено дугу радіусом 50 мм з радіусом заокругленням 40 мм по краях дуги (щоб лінія ескізу співпадала з попередньо створеним ескізом). Після створення двох ескізів було використано інструмент Sweep (елемент по траєкторії), де січенням слугував ескіз прямокутника, а траєкторією слугувала дуга. Готовий вигляд ручки зображено на рис. 2.24.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		95

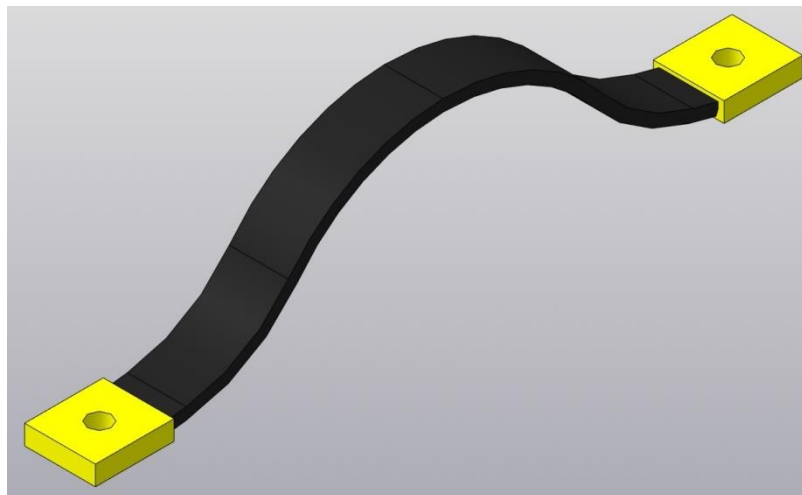


Рисунок 2.24 – Вигляд спроектованої ручки для переносу виробу

Усі виготовлення деталей корпусу для інвертора напруги завершені. Наступним етапом була збірка виробу. Збірка проходила поетапно з дотриманням порядку збірки виробу. Усі елементи корпусу співпали зі своїм посадковим місцем. Детальніше про збірку виробу неведено в додатку Г

#### 2.4 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто використання САПР Altium Designer для проєктування друкованого вузла інвертора напруги 12/220В та та Autodesk Fusion 360 для розробки корпусу інвертора. Завдяки застосуванню Altium Designer було забезпечено ефективне створення схеми, налаштування правил трасування та оптимізацію розміщення компонентів. Виконано перевірки на помилки за допомогою функцій ERC, DRC та LRC, що забезпечило високу точність і надійність проєкту. Обраний матеріал для плати склотекстоліт FR-4 відповідає вимогам до технологічних та електричних характеристик пристрою. В результаті було отримано повний комплект конструкторської документації, який готовий до подальшого виробництва.

Завдяки використанню CAD-програми Fusion 360 корпус виробу було накреслено з точністю до десятків міліметра. Успішно проведено збірку виробу.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		96

## 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

### 4.1 Стихійні лиха та їх класифікація.

#### Загальні відомості про природні стихійні лиха

Біди, народжені силами природи, переслідували людину протягом тисячоліть її розвитку які діють на неї і сьогодні. Якщо детально розглянути зв'язок між катастрофами та історією людини, то можливо замітити, що катастрофи, які впливають на розвиток цивілізації, відіграли важливу роль в оформленні соціально-політичного обличчя сучасного людського суспільства. Разом з тим стихійні природні лиха поки що не в повній мірі підвладні людині. Вони завдають суспільству вагомих збитків і нерідко супроводжуються людськими втратами.

Стихійне лихо – це явище природи, яке створює катастрофічну обстановку, порушує нормальну діяльність населення, руйнує будівлі та споруди, загрожує життю і призводить до загибелі людей, тварин, знищення матеріальних цінностей.

Стихійне лихо дуже небезпечне внаслідок раптового виникнення. Воно наносить значні збитки народному господарству країни.

Природні стихійні лиха, за розміром охоплених територій поділяються на дві категорії. До першої категорії віднесені землетруси, урагани, повені, пожежі тощо, які охоплюють територію, що перевищує адміністративні кордони області і ті, які завдали господарству великих матеріальних збитків. До другої категорії віднесені стихійні лиха, дія яких охоплює територію в адміністративних кордонах області і завдають народному господарству матеріальні збитки.

Надзвичайні ситуації або стихійні лиха природного характеру – це:

1) Геологічні (землетруси, виверження вулканів, зсуви, обвали осідання земної поверхні, карстові провалля);

2) Метеорологічні (сильний вітер, пилові бурі, зливи, крупний град,

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		97

сильний мороз, снігопад, хуртовина, ожеледь, туман, спека; засуха, заморозки);

3) Гідрологічні морські та прісноводні явища (сильні хвилі у морі і водосховищах, високий або низький рівень води, раннє покриття поверхні водоймищ, снігові лавини, покриття льодом суден, підвищення рівня ґрунтових вод тощо);

4) Пожежі в природних екосистемах (лісові, степові, торф'яні, підземні пожежі горючих копалин);

5) Інфекційна захворюваність (отруєння) людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, масова загибель диких тварин тощо.

В Україні зазвичай присутні такі види стихійного лиха: пожежі, землетруси (рідко), повені і широкомасштабні затоплення, снігові заноси, селеві потоки (рідко), лавини та урагани, екстремальні зміни метеорологічних обставин.

Стихійні лиха або виробничі аварії, які призводять до загибелі значної кількості людей, обумовлюють величезні матеріальні збитки, називаються катастрофами.

Так, наприклад, в липні - серпні 1993 р. в північно-західних областях України повені, які були викликані зливами, завдали великих матеріальних збитків та призвели до гибелі людей. Тільки у Рівненщині загинуло чотири чоловіка, зруйновано 10 мостів, пошкоджено 440 житлових будинків і майже 30 км шляхів. Під водою опинилося 300 тис. га території. Загальна сума збитків перевищила 160 млн. грн.;

#### Основні види природних стихійних лих

Землетрус – сильне коливання земної кори внаслідок раптових зміщень та розривів як в земній корі, так і в більш глибоких зонах. Ці коливання передаються на великі відстані. Підземні поштовхи та коливання ґрунту виникають внаслідок порушення рівноваги у глибині земної кори.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		98

Землетруси бувають обвальні, вулканічні та тектонічні. Обвальні землетруси відбуваються від падіння покрівлі природних пустот, що виникають в верхніх частинах земної кори в зв'язку з вимиванням легко розчинних гірських порід. Вулканічні землетруси спричиняються вулканічними процесами, наприклад, вибухами газів, які виділяються з лави. Землетруси тектонічні обумовлені раптовим зміщенням гірських порід, які відбуваються в земній корі. Вони є найбільш руйнуючими. Моретруси - це землетруси, осередок яких знаходиться під дном моря чи океану.

Область початкового порушення в товщі земної кори називається осередком чи гіпоцентром землетрусу. Гіпоцентр землетрусу знаходиться на різних глибинах в межах до 30 км. Точка земної поверхні, розташована прямо над гіпоцентром, яка лежить на прямій, що з'єднує центр Землі із гіпоцентром, називається епіцентром землетрусу. В області епіцентру спостерігаються найбільш сильні коливання ґрунту.

Сильні землетруси здатні викликати нові землетруси в інших сейсмічнонебезпечних районах. Наприклад землетруси в Паміро-Гіндукушському районі викликають подібні сейсмічні події в прилягаючому великому районі Середньої Азії. Це відбувається тоді, коли землетрус збігається в часі з заключною фазою підготовки підземного удару у сусідів. На полігонах Невади (Каліфорнія, США) і Семіпалатинська у 60-80 роки були проведені дослідження, які встановили подібний вплив підземних ядерних вибухів на виникнення землетрусів. Ефект передачі "ініціативи" впливає головним чином на ділянки земної кори, які знаходяться у збудженому стані.

Землетруси – найбільш руйнівні і небезпечні стихійні лиха. Вони охоплюють значні території, при цьому порушується цілісність ґранту, руйнуються будинки і споруди, виводяться з ладу комунально-енергетичні системи, можливі великі людські жертви.

Всього на земній кулі відбувається щорічно біля 100 000 землетрусів

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		99

різної сили, з них катастрофічних – не більш одного, дуже сильних – біля 10, руйнівних коливань – біля 100.

Місця землетрусів розподілені нерівномірно. Основна кількість землетрусів відбувається біля складчастих зон Землі. В Україні небезпечними зонами є Кримський півострів та район Карпат.

В зв'язку з високим рівнем небезпеки землетрусів особливу актуальність становить проблема прогнозування та захисту від них.

Прогнозування є початковим станом захисту від землетрусів. Ціллю прогнозування є встановлення регіонів вірогідних землетрусів та оцінка степені їх сейсмічної загрози. Кінцевим результатом цього є розробка карт сейсмічного районування, які в подальшому використовуються для вибору заходів захисту від вірогідних землетрусів.

На сьогоднішній день захист від землетрусів здійснюється, як правило, заходами будівельного характеру. Основну увагу при цьому приділяють створенню споруд, які здатні протистояти руйнівній дії землетрусу. Для цього використовують монолітні та каркасні споруди та зменшують кількість поверхів багатоповерхових будинків.

Важливим питанням є правильний вибір основи будівель, найоптимальнішим варіантом є використання скельних ґрунтів.

Поведінка людей при землетрусах залежить від фази їх розвитку. При отриманні інформації про вірогідний землетрус необхідно покинути споруду та відійти на достатню відстань. При відсутності такої інформації під час землетрусу рекомендується залишатись в будинку, під захистом її найбільш стійкої частини (дверні та віконні пройми капітальних стін, стійкі та монолітні плити та ін.). Небезпечно знаходитись біля зашкелених площ та в кутових кімнатах.

Від уламків штукатурки та скла необхідно укриватись під столом або ліжком, голову слід укривати руками та одягом. Не слід користуватися ліфтами. Обов'язково необхідно вимкнути всю електрику та газ. При цьому

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		100

в жодному разі не піддаватися паніці та зберігати спокій. По закінченню коливань необхідно покинути будівлю. Після землетрусу необхідно надати першу допомогу потерпілим. Професійна допомога потерпілим організується в максимально короткі терміни, для чого мобілізуються аварійно-рятувальні частини, будівельні організації, спеціальна техніка та спеціалісти по рятуванню людей в умовах землетрусу.

В сейсмонебезпечних районах населення завжди має бути готовим до землетрусу. Для цього в квартирах необхідно мати запас продуктів, питної води, теплих речей, радіоприймач з автономним джерелом живлення.

Попередити про землетрус може сигнал цивільної оборони “Увага всім”, поданий сиренами. Почувши його, необхідно ввімкнути радіоприймач, репродуктор чи телевізор на місцеву станцію і діяти згідно одержаної інформації. (більш детально викладено в “Правилах поведінки людей в разі виникнення стихійного лиха”).

В історії виникнення землетрусів є трагічні землетруси, які привели до загибелі багатьох людей, та до великих матеріальних збитків. За даними ЮНЕСКО землетрусам належить перше місце за завданими збитками і одне із перших місць за кількістю загиблих людей. В європейських країнах і в Україні для визначення інтенсивності землетрусів використовується 12-ти бальна міжнародна шкала MSK-64. Землетруси згідно шкали поділяють на 10 категорій: слабкі - 1-3 бали, помірні - 4 бали, достатньо сильні - 5 балів, дуже сильні - 7 балів, руйнівні - 8 балів, спустошуючі - 9 балів, знищуючі - 10 балів, катастрофічні - 11 балів, дуже катастрофічні - 12 балів.

Інтенсивність землетрусу - це міра стану навколишнього середовища після землетрусу. Визначається ступенем руйнування будинків, споруд, характером зміни земної поверхні. Підземні поштовхи, удари і коливання поверхні землі, як правило, охоплюють великі території. Під час сильних землетрусів порушується стан ґрунту, руйнуються будинки і споруди, виходять з ладу комунальні та енергетичні мережі. На земній кулі щороку

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		101

виникає більше 100 землетрусів. Виникають землетруси несподівано, і хоча головний поштовх продовжується декілька секунд, його наслідки можуть бути трагічними. Природою землетрусів є тектонічні, вулканічні явища та обрушення. Крім цього землетрус (моретрус) може мати місце внаслідок падіння метеоритів або зіткнення нашої планети з іншими космічними тілами. Найчастіше відбуваються тектонічні землетруси.

Пожежа – це некерований процес горіння, що знищує природні та матеріальні цінності, тварин, людей тощо. Пожежа може виникнути в лісах, на торф'яниках, в степу, на луках, в населених пунктах. Природними причинами виникнення пожеж є самозапалення та розряди блискавки. З цих причин пожежі найчастіше виникають в лісистій місцевості. Пожежі можуть бути підземними (грунтовими), низовими та верховими.

Лісові пожежі низові. Вогонь розповсюджується тільки по наземному шару, верхові - горить крона дерев та ґрунтові горіння розповсюджується в товщі горючого матеріалу (торфу, бурого вугілля, ланцю). Особливу небезпеку становлять верхові пожежі. Такі пожежі, коли вони стійкі, рухаються суцільною стіною вогню від ґрунту до вершин дерев з швидкістю до 8 км/год. Під час сильного вітру верхові пожежі можуть бути поверховими, що рухаються по кронах дерев "стрибками" з швидкістю до 25 км/год., випереджаючи фронт низової пожежі. Причиною 80% таких пожеж є порушення населенням пожежної безпеки в місцях відпочинку і роботи, а також використання при роботі несправної техніки.

Підземні пожежі виникають на ділянках з торф'яними ґрунтами. Горіння протікає повільно, без полум'я і зона горіння переміщується впродовж торф'яного шару. Таку пожежу часто важко помітити, тому вона дуже небезпечна для людей. Степові (лугові) пожежі виникають при низькій вологості повітря і, як правило, на полях з стиглими зерновими культурами та на пасовиськах. Пожежі завдають народному господарству відчутних матеріальних збитків, часто супроводжуються людськими жертвами. Так,

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		102

тільки за 4 місяці у 2003 р. в Україні під час пожеж загинуло близько 1000 людей.

Повінь - стихійне лихо, що супроводжується значним затопленням суші водою, яка вийшла з берегів внаслідок підняття рівня води (річок, озер, морів).

Основні причини повені:

- 1) Бурхливе танення снігу весною, або випадання сильних дощів;
- 2) Піднесення рівня води в річках, внаслідок завалення водоймища поверхневим льодом або скупчення глибинного льоду (шуга, внутрішній водяний лід);
- 3) Підвищення рівня води в гирлових ділянках річок під дією вітру, спрямованого назустріч течії;
- 4) Підвищення рівня води внаслідок землетрусів;
- 5) Прорив загороджувальних споруд водою (дамб, гребель і т.п.).

В Україні проблема весняних повеней існує практично в усіх її регіонах і обумовлена розливом як основних водних артерій, так і малих річок.

Буря – це непогода з сильним руйнуючим вітром.

Ураган (шторм) – надзвичайне швидке переміщення повітря, яке викликає руйнування будинків, споруд, інколи цілих населених пунктів, знищення морських та річних суден, а також супроводжується загибеллю людей і тварин. Швидкість вітру досягає 120-210 км/год. У морських регіонах урагани викликають бурхливі хвилі та шторми.

Смерч – це атмосферний вихор значних розмірів, швидкість якого інколи перевищує швидкість звуку. Для смерчу характерним є розрідження повітря зі значними механічними руйнівними наслідками: зриваються дахи будівель, вириваються з корінням дерева, руйнуються дерев'яні споруди. Багато лиха наробив ураган, який спостерігався з 14 до 18 листопада 1992 р. в 11 областях України. Наслідки цього стихійного лиха наступні: без електрики залишилося 3454 населених пунктів в територіальних частинах і

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		103

рядах великих міст, зруйнована величезна кількість споруд, будинків. Загальний збиток становив понад 2 млрд. грн. Силу ураганів, штормів та смерчів прийнято визначати в залежності від швидкості вітру по 17-ти бальній шкалі.

Снігова лавина – це величезна маса снігу, що падає з вершин гір та схилів та стрімко опускається вниз. Вона часто досягає населених долин. Лавина утворюється головним чином внаслідок перевантаження схилів під час завірюхи, а також внаслідок формування в сніговій товщі особливого горизонту розпушення. Лавини іноді призводять до сильних руйнувань. Є лавинонебезпечні місця, де в зимовий час можливе падіння лавин. Лавини виникають, якщо крутизна схилів становить 15-60 градусів. Спускання їх зі схилів малої крутизни має місце головним чином в тих випадках, коли вище збірника лавин знаходяться скельні породи, з яких спускаються зсуви, що надають силу поштовхам сніговому покриву збірника. Сприятливим сходу лавин факторами є також підземні води, що виходять на поверхню і трав'яний покрив схилів гір. Велику роль відіграють експозиція навітряних схилів і пануючі вітри для даного району.

Снігові заноси виникають внаслідок сильних снігопадів і завірюх. Через них може припинитися рух на автомагістралях, залізницях, повітряному транспорті. При цьому ускладнюється робота комунального та енергетичного господарства, підприємств, засобів зв'язку, порушується нормальна діяльність селищ та міст.

Обмерзання – це покриття кригою шляхів, транспортних засобів.

Селевий потік (селі) – це бурхливий потік бруду із значним (до 30%) утриманням наносів, що виникає в гірських районах. Селеві потоки нетривалі але руйнуючі. Вони можуть змінити рельєф місцевості, зміщувати предмети масою до 20 тонн.

Сель – стихійно сформований в руслах гірських річок потік води з великою кількістю піску, каміння, мулу. Причинами його виникнення є

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		104

інтенсивні зливи, швидке танення снігу та льоду. Сель характеризується великою масою та швидкістю пересування. Руйнує гідроелектростанції, гідротехнічні споруди, будівлі, шляхи, знищує сади та ліси, призводить до загибелі тварин, а часом і людей.

Зсув – це відрив гірської породи від ослабленої маси внаслідок розмиву ґрунтовими водами з переміщенням його під впливом сили ваги без перевертання по схилу узгір'я, яру, крутого берега річки чи моря. Основною причиною зсуву частіше за все бувають ґрунтові води при наявності залеглих похилими шарами порід, здібних при змочуванні їх підземними водами створювати слизьку поверхню, по якій пласти, що розміщені вище можуть сповзати вниз. Зсувний рух зв'язаний зі змочуванням порід (глин, мергелів та інших) водою в підшві схилу. Зсуви призводять до катастрофічних наслідків: руйнуються будівлі, споруди, автомобільні шляхи, залізниці, лінії електропередач, лінії зв'язку, комунальні та енергетичні мережі. На поверхні землі утворюються провали, тріщини, виникає загроза затоплення великих територій.

#### 4.2 Заходи з техніки безпеки при експлуатації проєктованого виробу

Експлуатація інвертора 12/220В потужністю 400Вт пов'язана з двома основними факторами ризику: наявністю небезпечної для життя напруги (220В) та протіканням значних струмів (до 40А) у колі живлення.

##### Загальні вимоги до умов розміщення та експлуатації

1) Мікроклімат. Інвертор повинен експлуатуватися у сухих приміщеннях або салоні автомобіля. Забороняється використовувати прилад під впливом атмосферних опадів, у середовищі з високою вологістю (понад 80%) або з наявністю струмопровідного пилу, агресивних газів і парів, що можуть зруйнувати ізоляцію.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		105

2) Тепловий режим. Оскільки силова частина приладу (транзистори, трансформатор) виділяє значну кількість тепла, забороняється перекривати вентиляційні отвори корпусу. Відстань від радіаторів охолодження до найближчих предметів має становити не менше 10–15 см для забезпечення вільної конвекції повітря.

3) Пожежна безпека. Забороняється встановлювати пристрій поблизу легкозаймистих речовин, джерел відкритого вогню або нагрівальних приладів.

### Заходи безпеки у колах низької напруги 12В

Хоча напруга 12В є безпечною для людини з точки зору ураження струмом, струм споживання при максимальному навантаженні 400Вт може сягати 40 Ампер. Це створює високий ризик пожежі.

1) Переріз кабелів. Для підключення інвертора до акумуляторної батареї (АКБ) повинні використовуватися мідні багатожильні кабелі з перерізом не менше 4–6 мм<sup>2</sup>. Використання тонких проводів призведе до їх критичного нагрівання, розплавлення ізоляції та короткого замикання.

2) Захист від короткого замикання. Кабель живлення повинен бути обладнаний зовнішнім плавким запобіжником (на струм 50–60А), встановленим максимально близько до плюсової клеми акумулятора. Це захистить лінію у разі внутрішнього пробоя транзисторів інвертора.

3) Правила підключення до джерела живлення. Підключення повинно виконуватися з суворим дотриманням полярності. Під час підключення клем до свинцево-кислотного акумулятора можливе іскріння. Оскільки такі акумулятори виділяють вибухонебезпечний водень під час заряджання, приміщення має добре провітрюватися.

4) Якість контактів. Всі гвинтові та клемні з'єднання, особливо на роз'ємі ХР1 повинні бути надійно затягнуті. Поганий контакт при струмі 40А швидко призведе до локального перегріву та обвуглювання текстоліту.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		106

## Електробезпека у колах високої напруги 220В

Вихідна напруга змінного струму 220В є смертельно небезпечною. Попри те, що вихід інвертора гальванічно розв'язаний від мережі загального користування через імпульсний трансформатор, одночасний дотик до двох вихідних контактів викличе важке ураження електричним струмом.

1) Захист від прямого контакту. Всі струмоведучі частини на стороні 220В (контактні майданчики на платі, виводи конденсаторів, клемник XS1) повинні бути надійно приховані всередині діелектричного або заземленого металевого корпусу.

2) Підключення навантаження. Споживачі (побутова техніка, інструменти) повинні підключатися до інвертора лише за допомогою штатних вилок і розеток без механічних пошкоджень корпусу та шнура. Забороняється здійснювати комутацію навантаження "скрутками" дротів наживо.

3) Заборона паралельної роботи. Категорично заборонено підключати вихід інвертора (220В) безпосередньо до стаціонарної побутової розетки, якщо вона не відключена від загальної міської електромережі. Зустрічна напруга миттєво знищить прилад і може спричинити вибух компонентів.

### Вимоги безпеки під час ремонту та технічного обслуговування

1) Вимкнути живлення. Будь-які ремонтні роботи, очищення плати від пилу або перевірка надійності кріплень проводяться виключно після повного відключення інвертора від джерела живлення.

2) Залишковий заряд. Високовольтні електролітичні конденсатори у вихідному каскаді здатні зберігати небезпечний заряд напругою близько 300В протягом декількох годин після вимкнення. Перед дотиком до плати конденсатори необхідно примусово розрядити, наприклад, через лампу розжарювання або потужний резистор 1-2 кОм. Замикати виводи пінцетом або викруткою заборонено через ризик отримання опіку очей іскрами та

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		107

краплями розплавленого металу.

3) Інструменти. Для діагностики необхідно використовувати вимірювальні прилади (мультиметри, осцилографи) з відповідним класом захисту (CAT II / CAT III) та справними щупами. Ручний інструмент (викрутки, кусачки) повинен мати ізольовані ручки, розраховані на напругу до 1000В.

### 3.3 Висновки до розділу 3

Детально описано про стихійні лиха та їх класифікацію. Проведено оцінку ймовірності виникнення стихійного лиха та дії людини при її виникненні. Наведено історичні приклади появ стихійних лих з катастрофічними наслідками в Україні.

Описано заходи з техніки безпеки при експлуатації проєктованого інвертора напруги, послідовність дій обслуговування виробу, вимоги безпеки при експлуатуванні, застереження щодо некоректного використання, дії при безпечній експлуатації та обслуговуванні, також рекомендовані інструменти для ремонту виробу.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		108

## ВИСНОВКИ

Згідно завдань з кваліфікаційної роботи було розроблено конструкцію інвертора постійної напруги 12В у змінну напругу 220В. Розглянуто принцип роботи принцип роботи по функціональній та електричній принциповій схемах, здійснено вибір елементної бази та підбір аналогів кожних елементів, розраховано його основні технічні параметри, проведено якісну та кількісну оцінку технологічності, визначено послідовність проходження електричних сигналів та призначення кожного радіоелемента схеми інвертора, здійснено функціональні та технічні вимоги проєктованого виробу.

Проєктування виробу здійснювалось з врахуванням сучасних вимог конструктивно-технологічного, економічного та естетичного характеру, норм ергономіки та дизайну.

Характерними особливостями пристрою є досить потужні технічні характеристики за невелику ціну виробу, зручність та простота експлуатації та портативність.

З проведених розрахунків кількісної оцінки технологічності видно, що конструкція проєктованого виробу є повністю технологічною та відповідає усім існуючим рівням технологічності на підприємствах по випуску даних інверторів напруги.

Елементна база виробу є сучасною, масовою та недорогою, що робить виріб недорогим та надійним і через розповсюдженість елементів значно полегшує ремонт проєктованого пристрою.

Використання САПР Altium Designer та Fusion 360 дозволило успішно здійснити всі етапи розробки – від створення бібліотек компонентів до фінальної збірки корпусу виробу.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		109

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. CHAO MIN CM-400L [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/item/1005005906860954.html>
2. Dozorska, O., Yavorska, E., Dozorskyi, V., Pankiv, I., Dediv, I., & Dediv, L. (2019, February). The Method of Indirect Restoration of Human Communicative Function. In 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM) (pp. 1–4). IEEE. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070605549&origin=recordpage>
3. Khvostivska, L., Khvostivskyi, M., Dediv, I., Yatskiv, V., & Palaniza, Y. (2023, June). Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. CEUR Workshop Proceedings. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172028660&origin=recordpage>
4. UKC 400W Pure Sine Wave [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://online-marketlviv.com.ua/ua/p1617156428-avtomobilnyj-invertor-400vt.html?srsltid=AfmBOop0z92QEPPEXNvY5oYTtAF\\_ywz2CJCVPXk1BvjcEaZwdkrhKAvl](https://online-marketlviv.com.ua/ua/p1617156428-avtomobilnyj-invertor-400vt.html?srsltid=AfmBOop0z92QEPPEXNvY5oYTtAF_ywz2CJCVPXk1BvjcEaZwdkrhKAvl)
5. UKC KC-500D [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vencon.ua/products/kseonics-technology-ukc-kc-500d>
6. Palianytsia, Y., Dunets, V., & Khvostivska, L. (2023, November). Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment. In ITTAP (pp. 370–381). <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184364453&origin=recordpage>
7. Аналогова мікросхема DA1 LM358L [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/514875/ONSEMI/LM358.html>

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		110

8. Білінський Б.О. Математична модель заходів запобігання виробничому травматизму в підрозділах пожежної охорони // Науковий вісник Українського НДІ пожежної безпеки. – К. – 2002. – №2. – С. 126 – 130.

9. Біполярні транзистори A733R [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1649000/DGNJDZ/A733.html>

10. Біполярні транзистори MPSA44L [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/426559/ONSEMI/MPSA44.html>

11. Гучномовець TMB12A03 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1775624/HUAWHA/TMB12A03.html>

12. Діоди 1N4007 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/888558/VISHAY/1N4007.html>

13. Діоди 1N4148 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15021/PHILIPS/1N4148.html>

14. Діоди 1N5349 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/101380/MICROSEMI/1N5309.html>

15. Діоди 1N5401 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1390427/VISHAY/1N5401.html>

16. Діоди SR504 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/59330/DIODES/SR504.html>

17. ДСТУ EN 61140:2016. Захист від ураження електричним струмом. Загальні вимоги до встановлення та координації електроустановок. – [Чинний від 2017-01-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 125 с.

18. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=60892](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892)

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		111

19. ДСТУ ISO 6385:2005. Основні принципи ергономіки для проектування робочих систем. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 48 с.

20. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=102586](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586)

21. Електролітичні конденсатори ЕСАР [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.mundorf.com/audio/en/shop/Capacitors/Audio\\_Caps\\_ECap/](https://www.mundorf.com/audio/en/shop/Capacitors/Audio_Caps_ECap/)

22. Законодавство України про охорону праці. – Т.3. – К.: Основа, 1995. – 576 с.

23. Керамічні конденсатори К10-7В, СТ4 та СС3К [Електронний ресурс] – <https://eurocom-c.com/en/c-cer-470pf-50v-np0-5>

24. Клеми вихідні JS-333 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://step-ltd.com.ua/ua/p3737914-935ar-klemmnik-kontakta.html?srsId=AfmBOoprhFf4NVk6r-8zIPLDLp2DZhr\\_xP-uC8d-ouYJ051BfSMEUJHl](https://step-ltd.com.ua/ua/p3737914-935ar-klemmnik-kontakta.html?srsId=AfmBOoprhFf4NVk6r-8zIPLDLp2DZhr_xP-uC8d-ouYJ051BfSMEUJHl)

25. Металоплівкові конденсатори МСС [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://filur.net/ua/kondensator-222237076224>

26. Методичні вказівки з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» [https://dl.tntu.edu.ua/mods/\\_standard/file\\_storage/view.php?id=1148292](https://dl.tntu.edu.ua/mods/_standard/file_storage/view.php?id=1148292)

27. Офіційний сайт Altium Designer [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.altium.com>

28. Офіційний сайт Autodesk Fusion 360 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>

29. Перемикач KCD1-2-101N [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.acko.ua/e-store/xml\\_catalog/peremikachi\\_klavishni/21271/](https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/peremikachi_klavishni/21271/)

30. Підстроювальний резистор RM-063 [Електронний ресурс] – [https://lcsc.com/datasheet/lcsc\\_datasheet\\_2409272303\\_BOCHEN-Chengdu-Guosheng-Tech-RM063-203-20K\\_C5205033.pdf](https://lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2409272303_BOCHEN-Chengdu-Guosheng-Tech-RM063-203-20K_C5205033.pdf)

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		112

31. Підстроювальний резистор WH06 [Електронний ресурс] – <https://www.maritex.eu/en/product/allconne-wh06-1c-103-10k-rohs-semi-fixed-potprm6h103>
32. Плавкий запобіжник СН 20А [Електронний ресурс] – <https://www.etigroup.eu/products-services/photovoltaic-fuse-links-ch-gpv/002626234-fuse-link-ch10x85-ch-ch10-20a-1500v-gpv-2ms>
33. Польові транзистори IRF730 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/97868/IRF/IRF730.html>
34. Польові транзистори STP60NF06 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/24472/STMICROELECTRONICS/STP60NF06.html>
35. Постійні резистори серії MF [Електронний ресурс] – <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/200091/WILLOW/MF-100.html>
36. Програма для розрахунку надійності РЕА [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057>
37. Розетка CSW-210-C [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.real-el.com/en/catalog/power\\_dev/wa/csw\\_210\\_c/](https://www.real-el.com/en/catalog/power_dev/wa/csw_210_c/)
38. Світлодіод RL50N-HY23 [Електронний ресурс] – <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/291844/P-TEC/PL15-CDR21.html>
39. Терморезистор NTC33 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1211598/LEIDITECH/NTC33D-11.html>
40. Трансформатор В60-12D21 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://online.edifier.com.ua/product/transformator-sh-obraznyj-b60-12d07/>
41. ШІМ-контролер TL494L [Електронний ресурс] – <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/173088/UTC/TL494L-D16-T.html>
42. Яремко З.М. Безпека життєдіяльності // Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 317 с.

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		113

43. Яськів В., Яськів А., Юрченко О. (Червень, 2018). Synchronous rectification in High-Frequency MagAmp Power Converters. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/25630>

44. Яськів В., Лесів В. (Червень, 2011). Аналіз топологій коректорів коефіцієнта потужності для перетворювачів електричної енергії. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1165>

45. Яськів В. (Липень, 2019). Експериментальне дослідження напівпровідникового перетворювача електроенергії на основі високочастотних магнітних підсилювачів. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28815>

46. Яськів В., Яськів А., Юрченко О. (Лютий, 2025). Забезпечення високої ефективності високочастотних напівпровідникових перетворювачів електроенергії. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48241>

47. Яськів В. І. Метод побудови високочастотного силового інвертора на основі магнітних підсилювачів / Володимир Яськів, Анна Яськів, Анатолій Марценюк // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 112–114. — (Електроживлення радіоелектронної апаратури). <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/24195>

48. Яськів В., Гурник О., (Листопад, 2005). Кероване джерело електроживлення з виходом на змінному струмі. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/4030>

49. Яськів В., Крочак В. (Грудень, 2023). Нерегульований високочастотний транзисторний перетворювач напруги на основі дроселя насичення. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/43720>

50. Яськів В., Мишковець О., Лазарюк В. (2011). Низькочастотні напівпровідникові перетворювачі електроенергії для електрозварювання. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1171>.

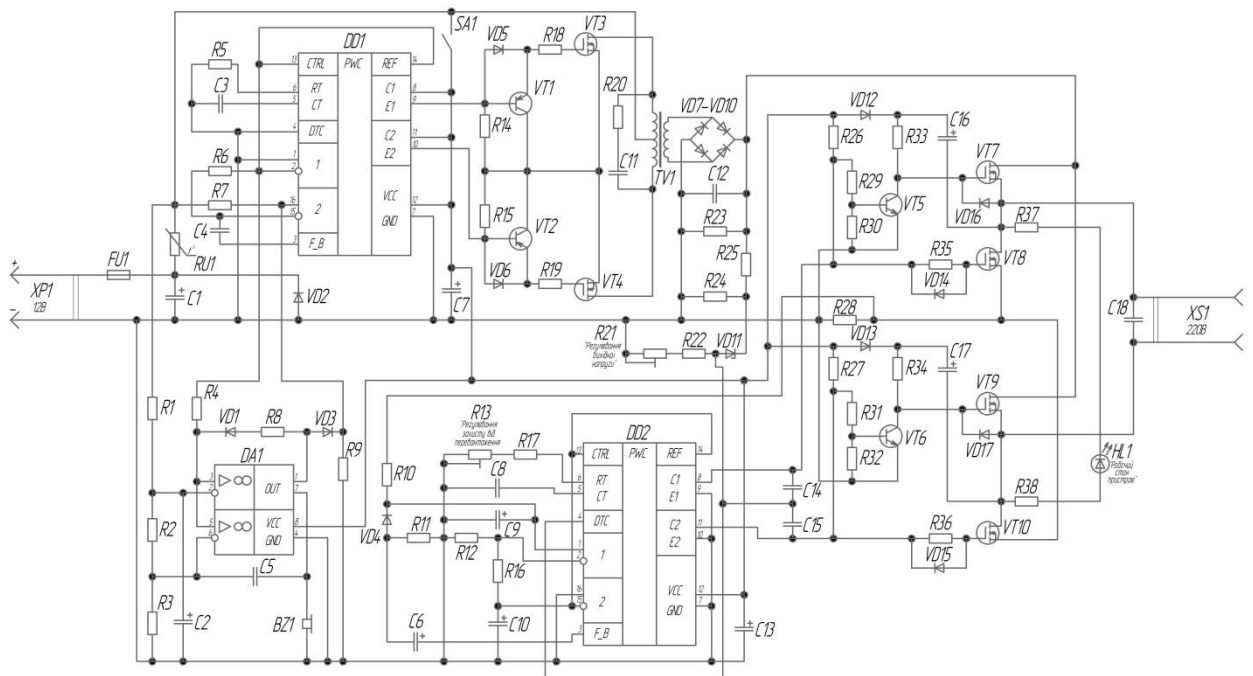
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		114

ДОДАТКИ

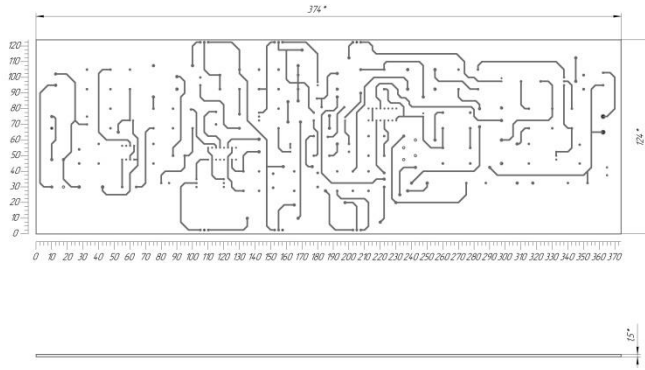
## Додаток А



Додаток 1А – Структурна схема інвертора напруги 12/220В

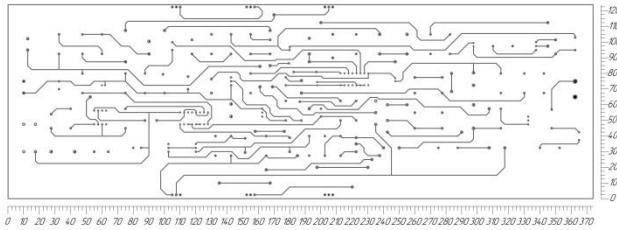


Додаток 2А – Схема електрична принципова інвертора напруги 12/220В



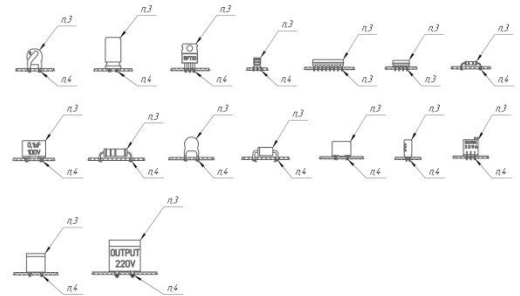
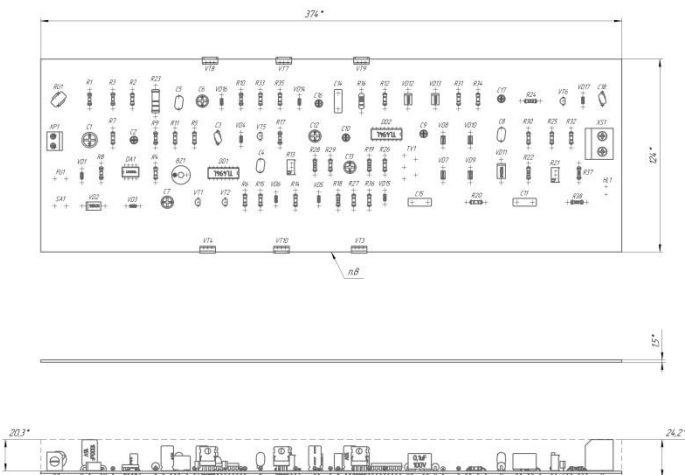
Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр котн. площ.	Наявність металізації	Кількість отворів
⊙	0,7	15	<sup>3</sup> металізацією	34
◐	1,1	2,2	<sup>3</sup> металізацією	55
◑	15	2,7	<sup>3</sup> металізацією	140
⊕	2	3,4	<sup>3</sup> металізацією	11



1. \*Розміри для довідок
2. Плата повинна відповідати ДСТУ 23752-79
3. Клас точності 2 по ДСТУ 23751-86
4. Крок координатної сітки 2,5 мм
5. Плату виконати комбінованим позитивним методом
6. Параметри отворів – див. таблицю 1
7. Мінімальна ширина друкованих провідників 1 мм
8. Мінімальна відстань між друкованими провідниками 1 мм
9. Плату захистити фарбою ТН ПФ-01 біла
- ТУ 29-02-889-88 шрифтом 2,5 Пр. 41 ДСТУ 26020-80
10. Контакти площадки покрити припаєм ПОС-61
- ДСТУ 931-76
11. Інші технічні вимоги по ОСТ 4.0.005.051

### Додаток 3А – Креслення друкованої плати інвертора напруги 12/220В

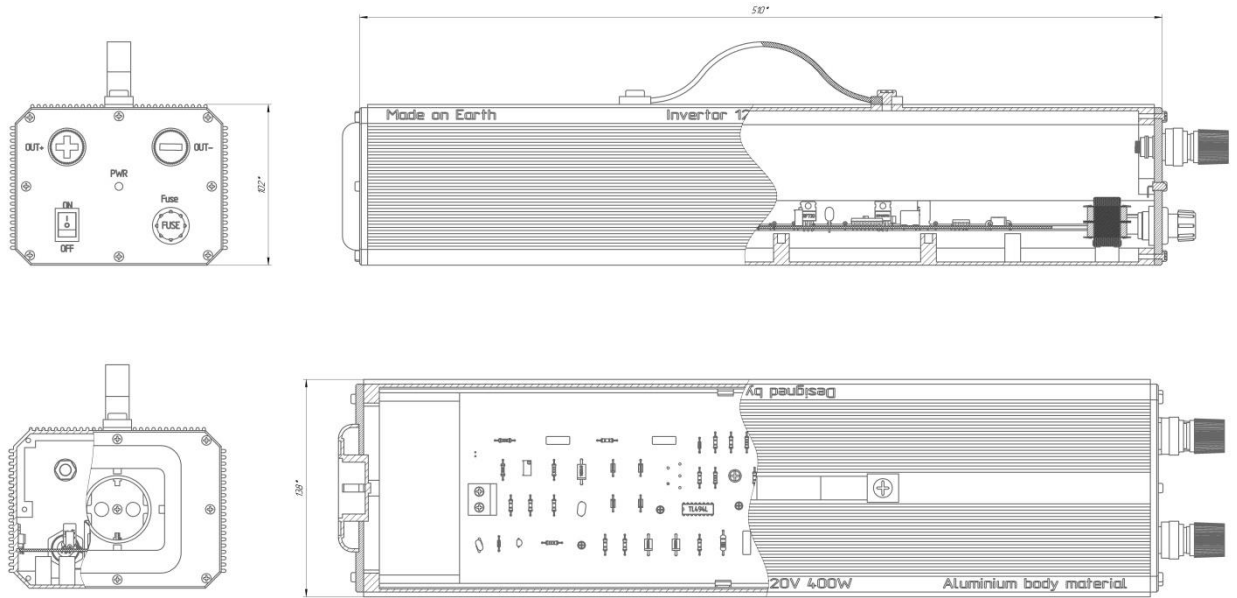


1. \*Розмір для довідок
2. Підготувку до монтажу провадити згідно ДСТУ2779
3. Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ2783. Елементи встановити згідно до зображених варіантів на кресленні
4. Пази елементів виконувати у відповідності з ОСТ4.0.054.267.
5. Паста КПТ-8 ОСТ21831-65.
6. Різьбіві з'єднання стопарити емалю ПФ-115
7. Маркувати номером, дату, літеру зміни ПФ115.
8. Друкований вузол покрити лаком 4Р-231 ТУ6-21-14-90.
9. Елементи схеми позначення показані умовно

### Додаток 4А – Складальне креслення друкованого вузла інвертора напруги

12/220В

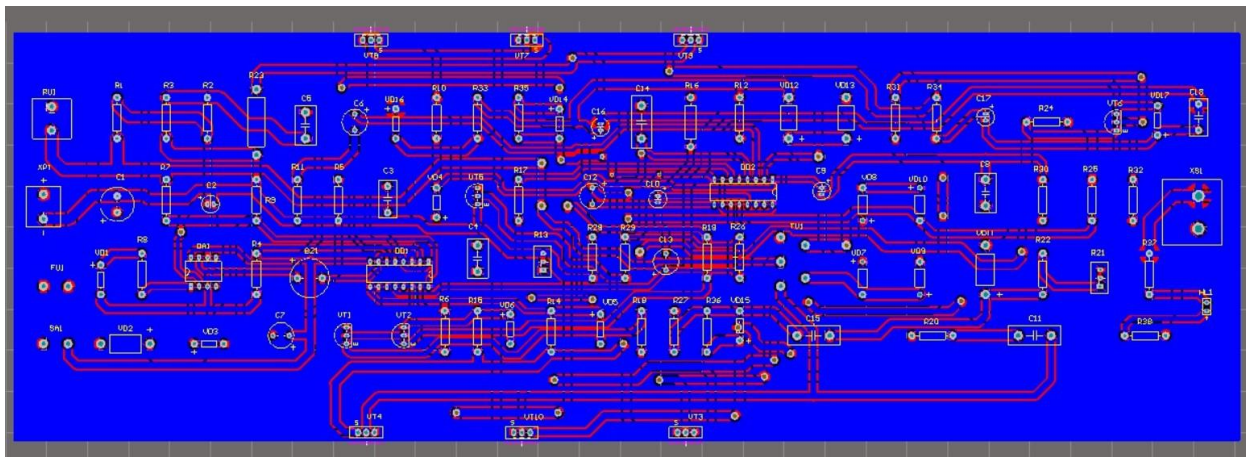
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



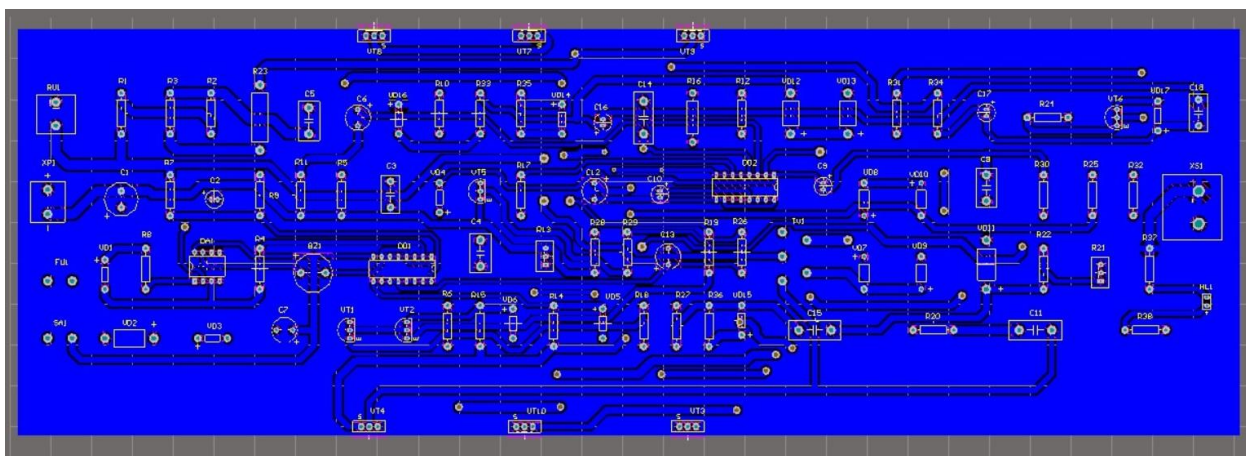
Додаток 5А – Складальне креслення корпусу інвертора напруги 12/220В

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		

## Додаток Б

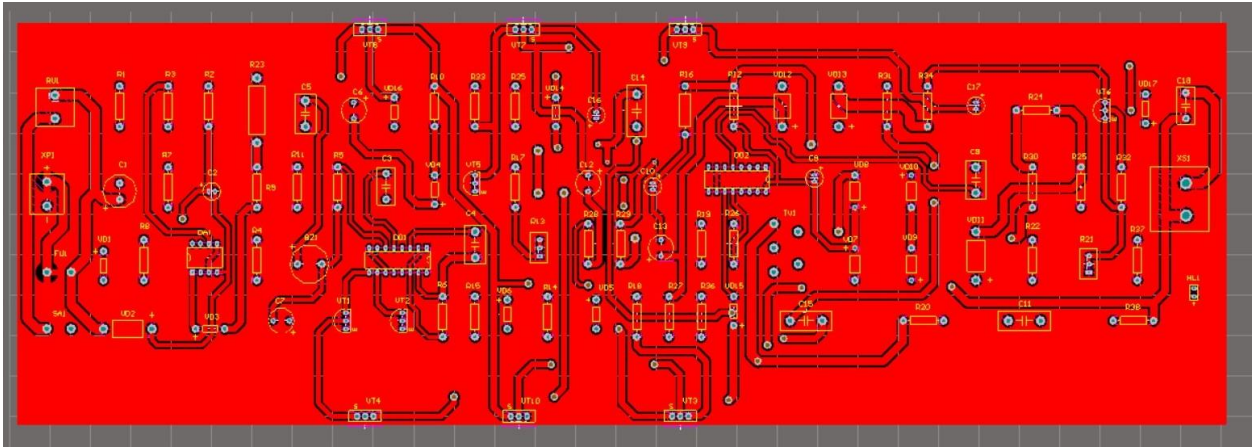


Додаток 1Б – Друкована плата інвертора напруги 12/220В, усі шари



Додаток 2Б – Друкована плата інвертора напруги 12/220В, шар Bottom

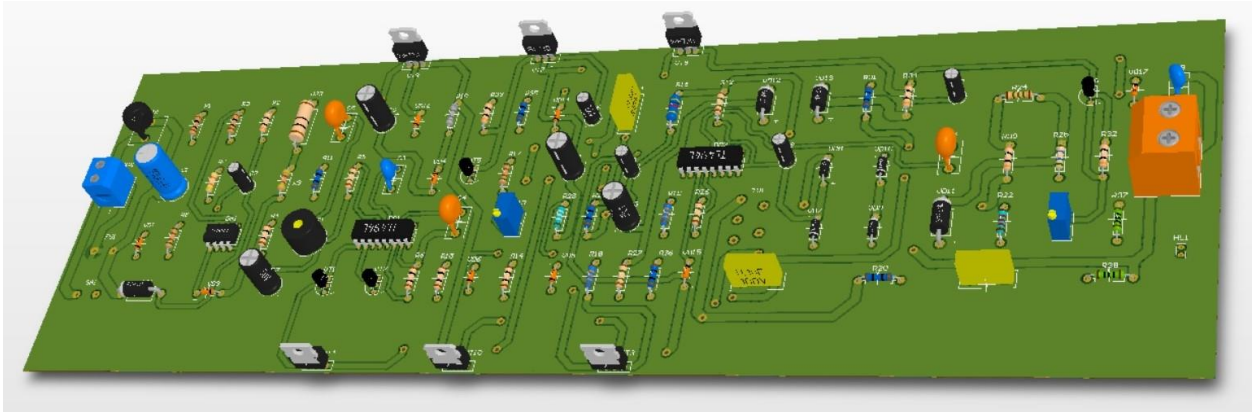
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



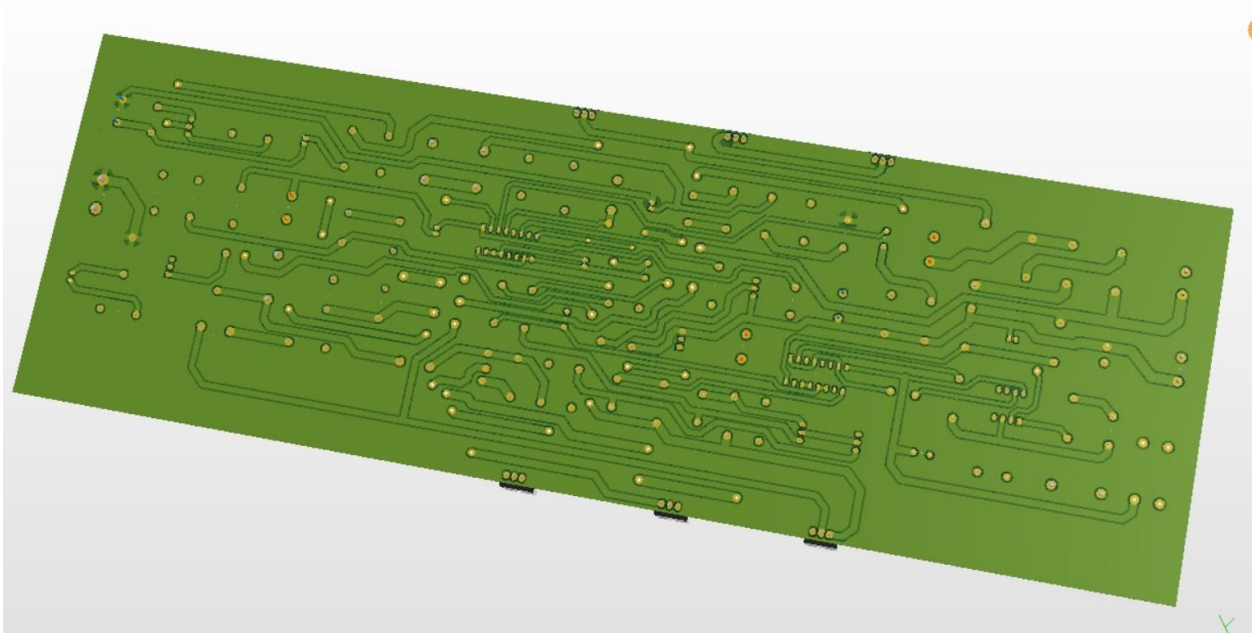
Додаток 3Б – Друкована плата інвертора напруги 12/220В, шар Тор

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

## Додаток В

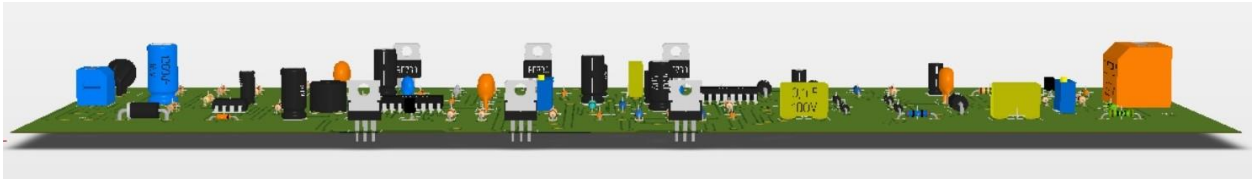


Додаток 1В – Друкований вузол інвертора напруги 12/220В, вигляд зверху



Додаток 2В – Друкований вузол інвертора напруги 12/220В, вигляд знизу

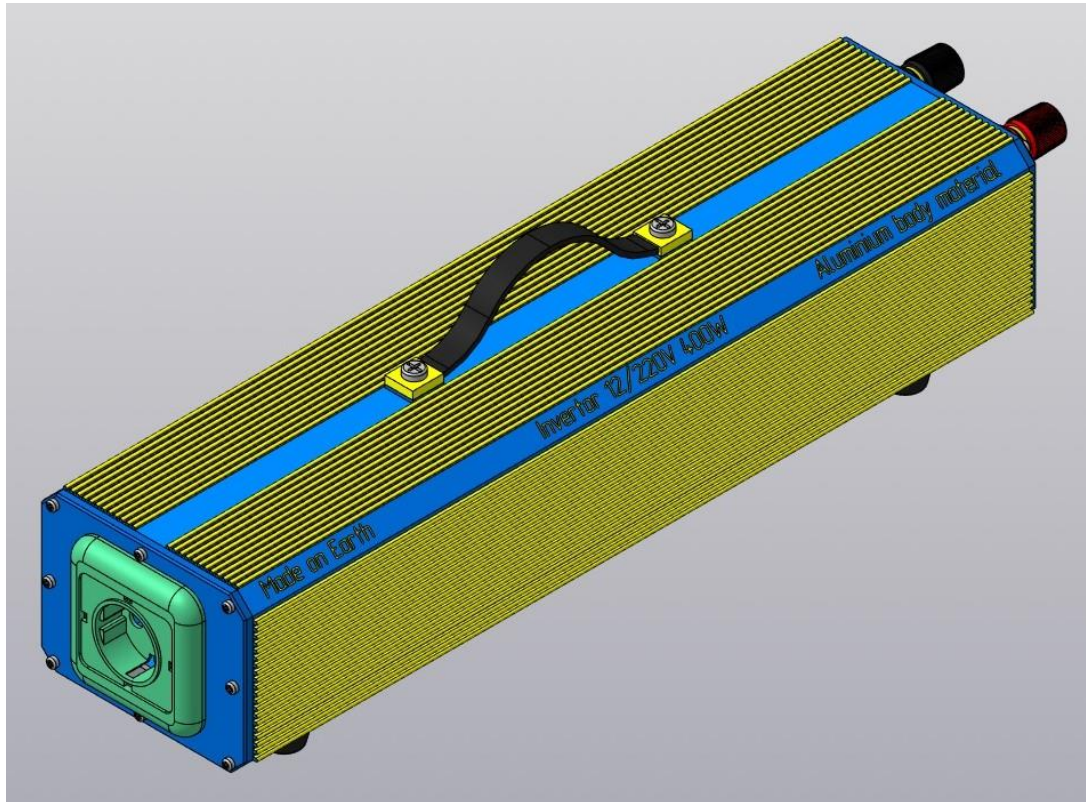
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



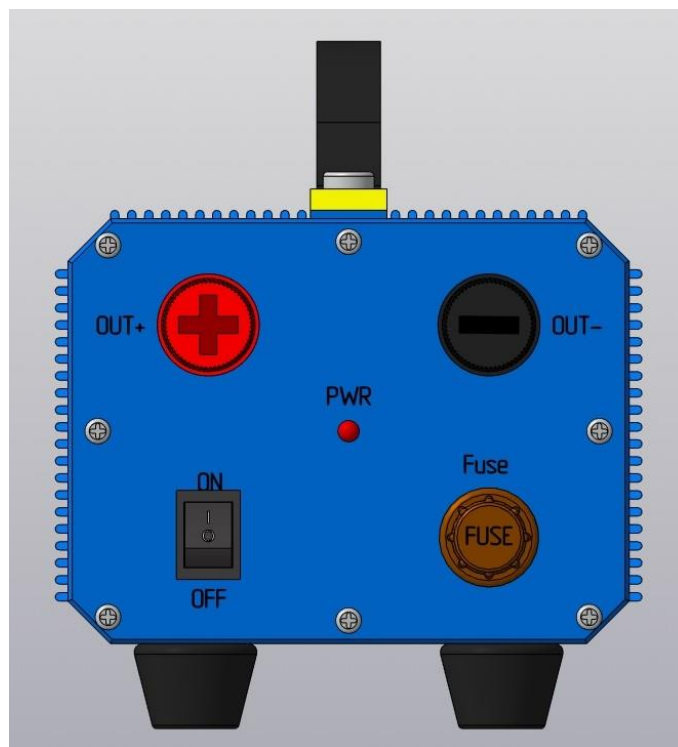
Додаток 3В – Друкований вузол інвертора напруги 12/220В, вигляд спереду

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Додаток Г

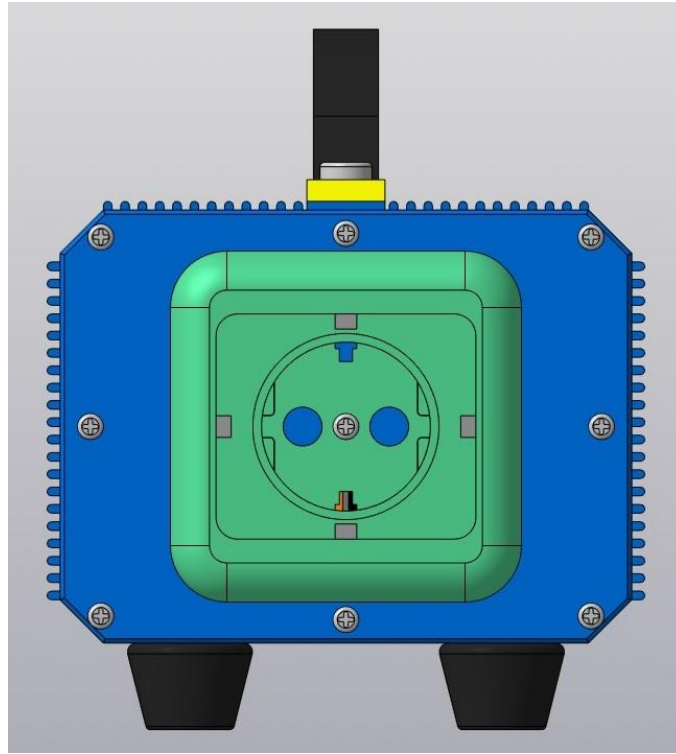


Додаток 1Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, загальний вигляд

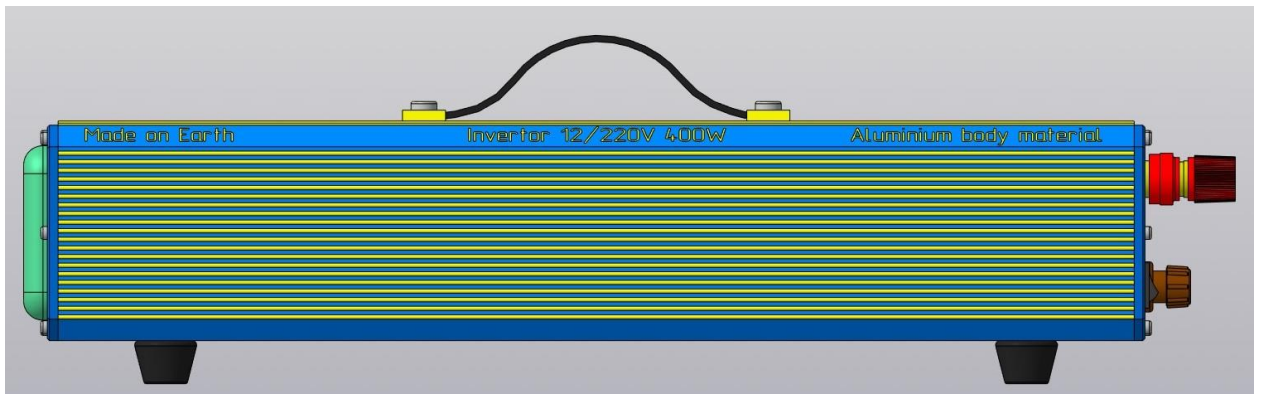


Додаток 2Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд спереду

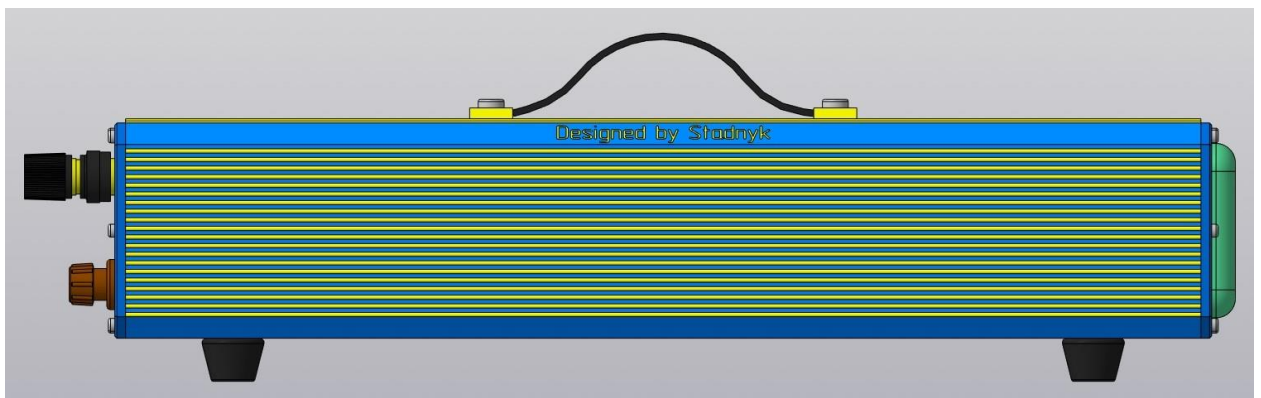
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



Додаток 3Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд ззаду

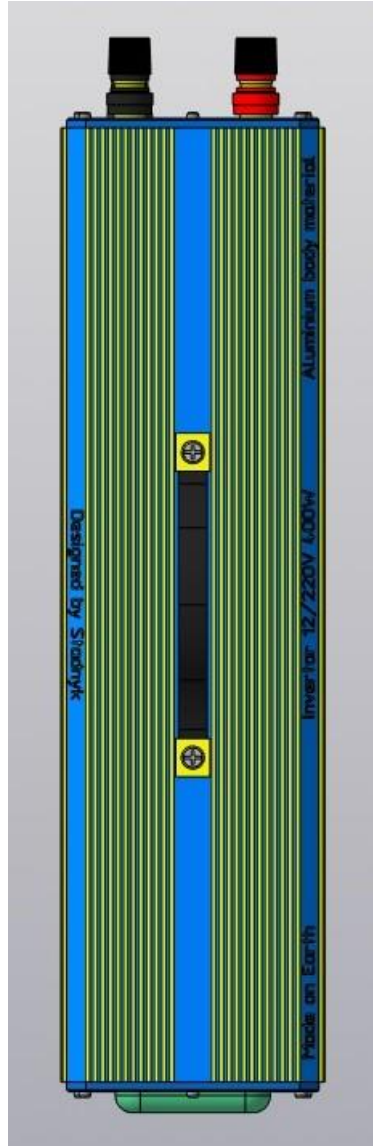


Додаток 4Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд зліва



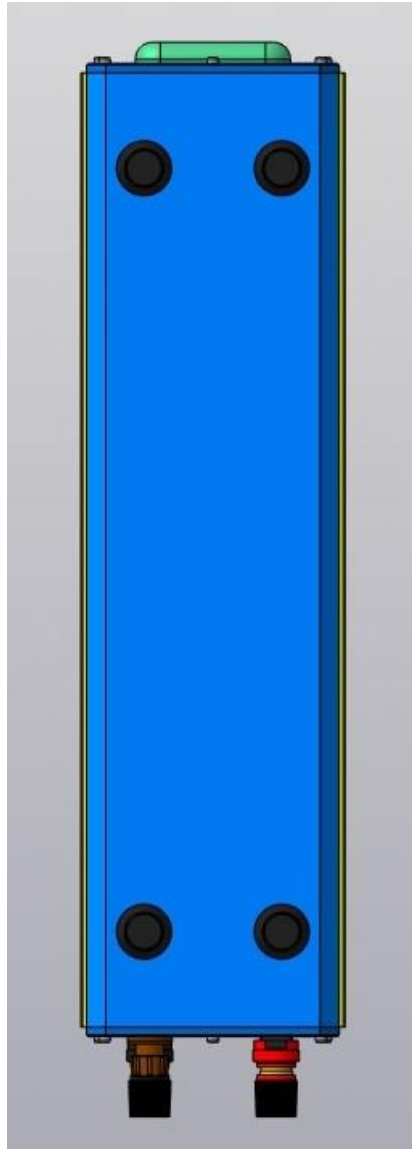
					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Додаток 5Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд справа



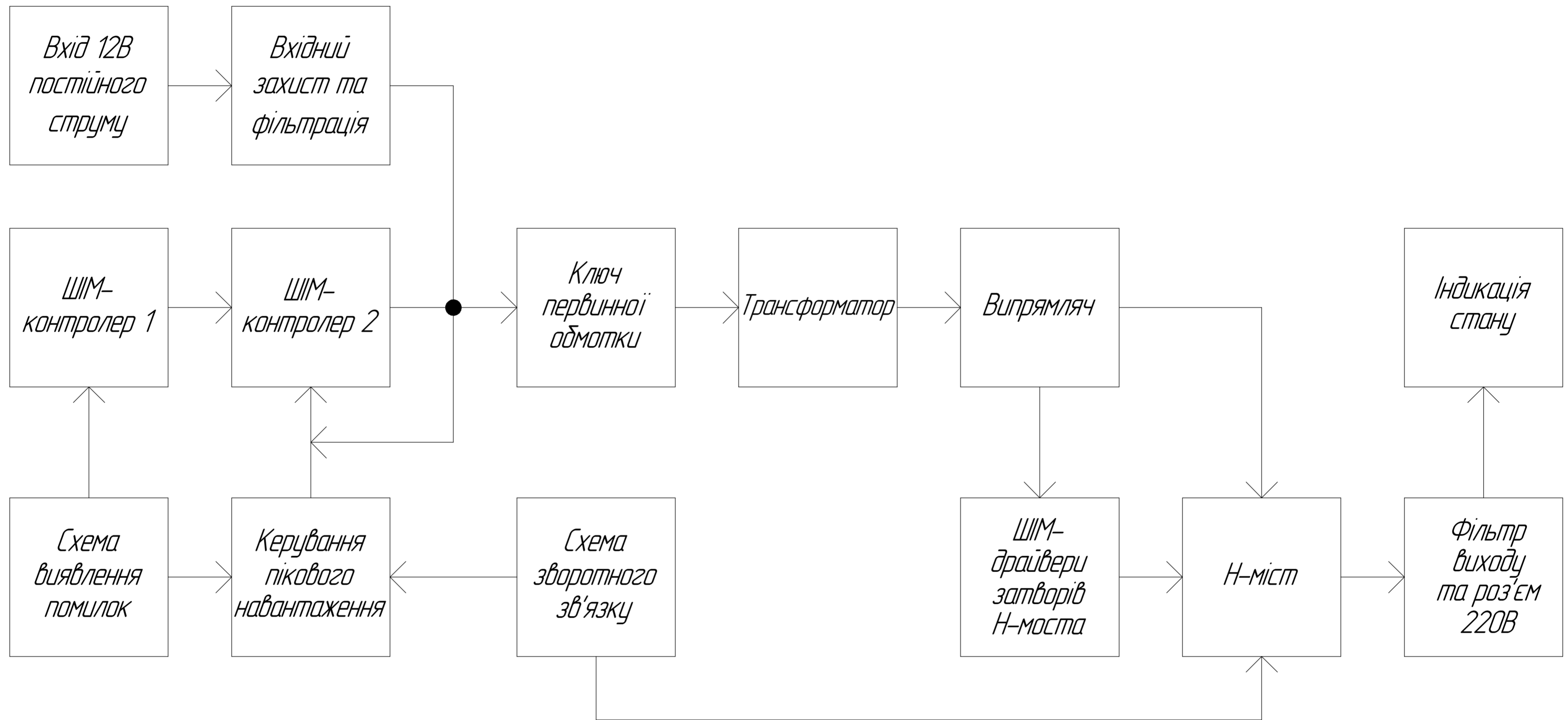
Додаток 6Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд зверху

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



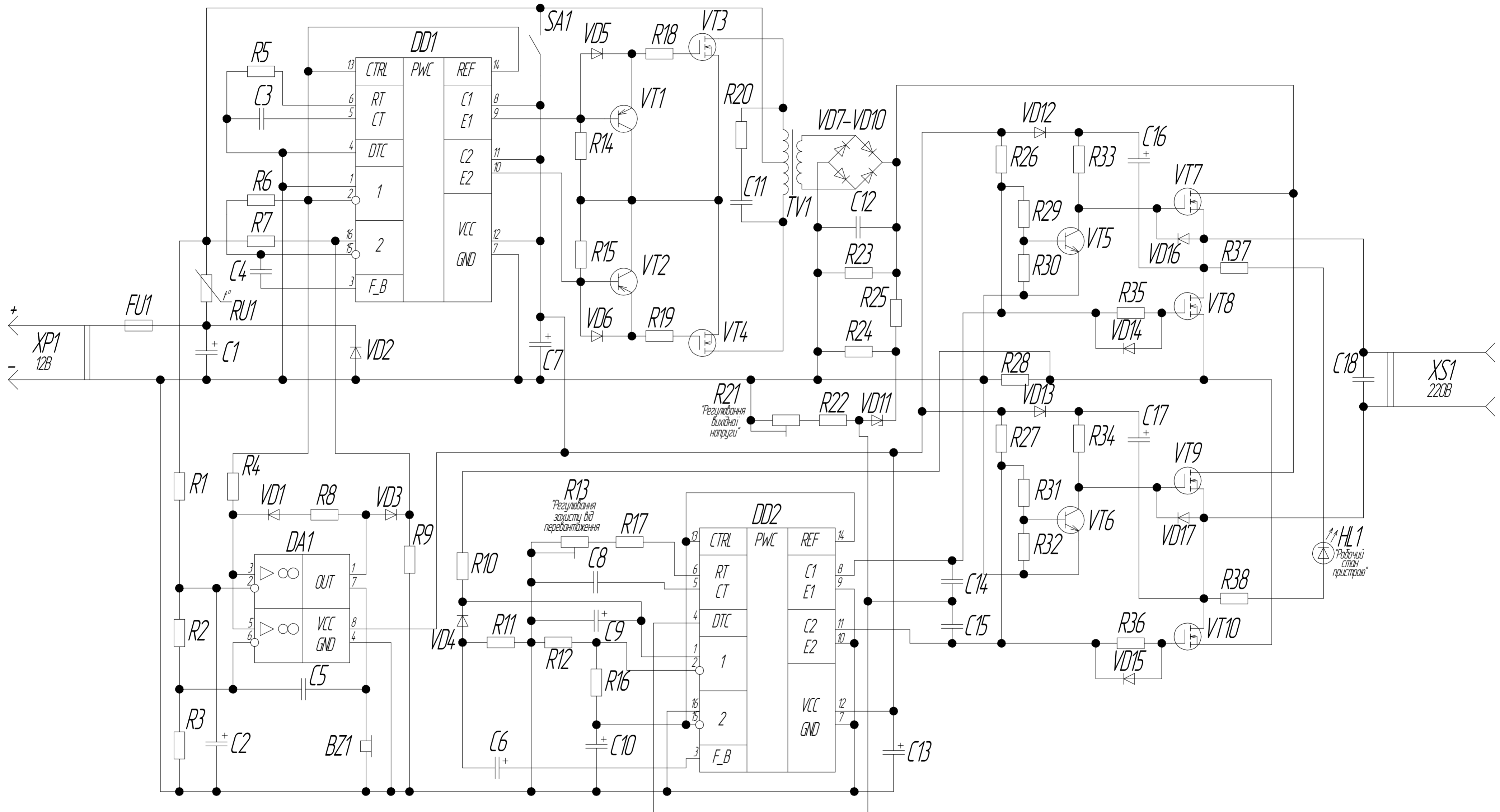
Додаток 7Г – Корпус інвертора напруги 12/220В, вигляд знизу

					<i>СВВ 2.008.001 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підп.	Дата		



Первинне застосування  
Довідниковий №  
Підп. і дата  
Інд. № підл.  
Зач. інв. №  
Підп. і дата  
Інд. № ар.

					<b>СВВ 2.008.001 Е1</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	<b>Інвертор напруги 12/220В</b> <i>Схема структурна</i>	Літ.	Вага	Масштаб
Разроб.	Стадник В. В.							1:1
Проб.	Яськів В. І.					Аркуш	Аркушів	1
Реценз.	Хвостівський М. О.					ТНТУ ім. І. Пулюя		
Нкантр.	Хвостівська Л. В.					група РАс-41		
Затверд.	Дунець В. І.				Формат А2			



Первинне застосування  
Листівковий №  
Підп. і дата  
Інв. № відл.  
Зам. інв. №  
Підп. і дата  
Інв. № ар.

				<b>CBB 2.008.001 E3</b>				
Эм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Перетворювач напруги 12/220 В		Лит.	Вага	Масштаб
Разроб.	Стадник В. В.					Т	-	-
Перевір.	Яськів В. І.			Схема електрична принципова		Аркуш	Аркушів	1
Реценз.	Хвостівський М. О.					ТНТУ ім. І. Пулюя		
Нкантр.	Хвостівська Л. В.					група РАС-41		
Затверд.	Дунець В. Л.					Формат А2		
				Копіював				

Поз. позначення	Найменування		Кіл.	Примітка
	Гучномовець			
	TMB12A HNDZ			
BZ1	TMB12A03 3 В, 170 мкА, 0,09 Вт		1	
	Конденсатори			
	ECAP Samwha			
	K10-7B Ether Components			
	CT4 Shanghai Jinpei Electronic			
	MCC Hitano			
	CC3K SR Passives			
C1	ECAP-LOW-ESR, 1000 мкФ, 16 В, ±20%		1	
C2, C9-C10	ECAP-SK, 2,2 мкФ, 50 В, ±10%		5	
C16-C17				
C3	K10-7B, 1000 пФ, 50 В, ±20%		1	
C4-C5	CT4, 1 мкФ, 50 В, ±10%		2	
C6-C7, C13	ECAP-LOW-ESR, 47 мкФ, 25 В, ±20%		3	
C8	CT4, 220 нФ, 50 В, ±10%		1	
C11, C14-C15	MCC, 0,1 мкФ, 50 В, ±10%		3	
C12	ECAP-LOW-ESR, 10 мкФ, 400 В, ±20%		1	
C18	CC3K, 220 пФ, 400 В, ±10%		1	
	Мікросхема інтегральна аналогова			
	LM358 Unisonic Technologies			
DA1	LM358L, 16 В, 0,7 мА, DIP-8		1	
	ШИМ-контролер			
	TL494 Texas Instruments			
DD1-DD2	TL494L, 7...40 В, 200 мА, 300 кГц, DIP-16		2	
<b>СВВ 2.008.001 ПЕЗ</b>				
Перетворювач напруги 12 - 220В				
Перелік елементів				
Копіював				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Стадник В.		
Перевір.		Яськів В. І.		
Реценз.		Хвостівський М. О.		
Н.контр.		Хвостівська Л. В.		
Затверд.		Дунець В. Л.		
Лім.	Аркуш	Аркушів		
	1	4		
ТНТУ ім. І. Пулюя				
група РАС-41				
Формат А4				

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Запобіжник</u>		
	СН ЕТІ		
FU1	СН, 20А, 10x38 мм	1	
	<u>Світлодіод</u>		
	RL50N Mean Well		
HL1	RL50N-HY23, 5 В, 20 мА, 5 мм	1	
	<u>Резистори</u>		
	MF Multicomp Pro		
	WH Omter		
	RM BOCHEN		
R1-R3	MF-25, 0.5 Вт, 47 кОм, ±10%	2	
R2, R30,	MF-25, 0.25 Вт, 3 кОм, ±10%	5	
R32...R34			
R4, R6,	MF-25, 0.25 Вт, 1 кОм, ±10%	4	
R14-R15			
R5	MF-25, 0.25 Вт, 15 кОм, ±10%	1	
R7	MF-25, 0.25 Вт, 16 кОм, ±10%	1	
R8-R17	MF-25, 0.5 Вт, 51 кОм, ±10%	2	
R9	MF-25, 0.5 Вт, 27 кОм, ±10%	1	
R10	MF-25, 0.5 Вт, 22 кОм, ±10%	1	
R11, R20, R29,	MF-25, 0.25 Вт, 10 кОм, ±10%	6	
R31, R35-R36			
R12, R26-R27	MF-25, 0.25 Вт, 1,5 кОм, ±10%	3	
R13	WH06-1, 10 кОм, ±20%	1	
R16	MF-25, 1 Вт, 100 кОм, ±10%	1	
R18-R19	MF-25, 0.25 Вт, 3.3 Ом, ±10%	2	
R21	RM-063, 1 кОм, ±20%	1	
R22	MF-25, 0.25 Вт, 5,1 кОм, ±10%	1	
R23	MF-25, 2 Вт, 470 кОм, ±5%	1	
R24	MF-25, 0.25 Вт, 150 кОм, ±5%	1	

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ор.

Зм. Лист № докум. Підп. Дата

СВВ 2.008.001 ПЕЗ

Арк.

2

Копіював

Формат А4

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
R25	MF-25, 0.25 Вт, 0,5 кОм, ±10%	1	
R28	MF-25, 0.25 Вт, 0,1 Ом, ±5%	1	
R37-R38	MF-25, 0.5 Вт, 82 кОм, ±10%	2	
	<u>Терморезистор</u>		
	NTC TDK EPCOS		
RU1	NTC33, 33 Ом, 0.5 А	1	
	<u>Перемикач</u>		
	KCD АСКО-УКРЕМ		
SA1	KCD-1-2-101N, 250 В, 10 А, IP20	1	
	<u>Трансформатор</u>		
	B60 Shenzhen Xiongzhengfa		
TV1	B60-12D21 60Вт 12В 4,5А	1	
	<u>Діоди</u>		
	1N4148 Semtech		
	1N5401 Fairchild Semiconductor		
	1N4007 Taiwan Semiconductor		
	SR504 Diotec Semiconductor		
VD1, VD3...VD6, VD14-VD15	1N4148, 100 В, 200 мА, DO-35	7	
VD2	1N5401, 100 В, 3 А, DO-27	1	
VD7...VD10	1N4007, 1000 В, 1 А, DO-41	4	
VD12-VD13	SR504, 400 В, 5 А, DO-201AD	2	
	<u>Стабілітрон</u>		
	1N5349 Fairchild Semiconductor		
VD11	1N5349 12 В, 5 Вт, DO-201	1	
	<u>Транзистори</u>		

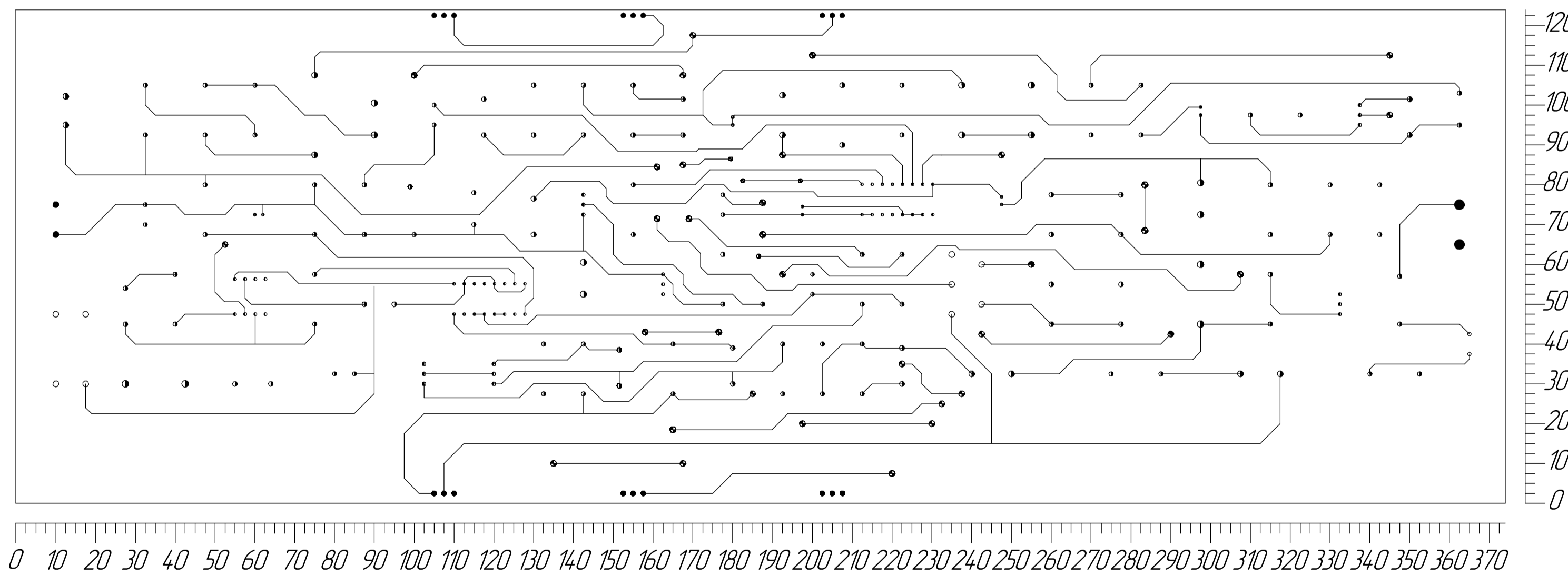
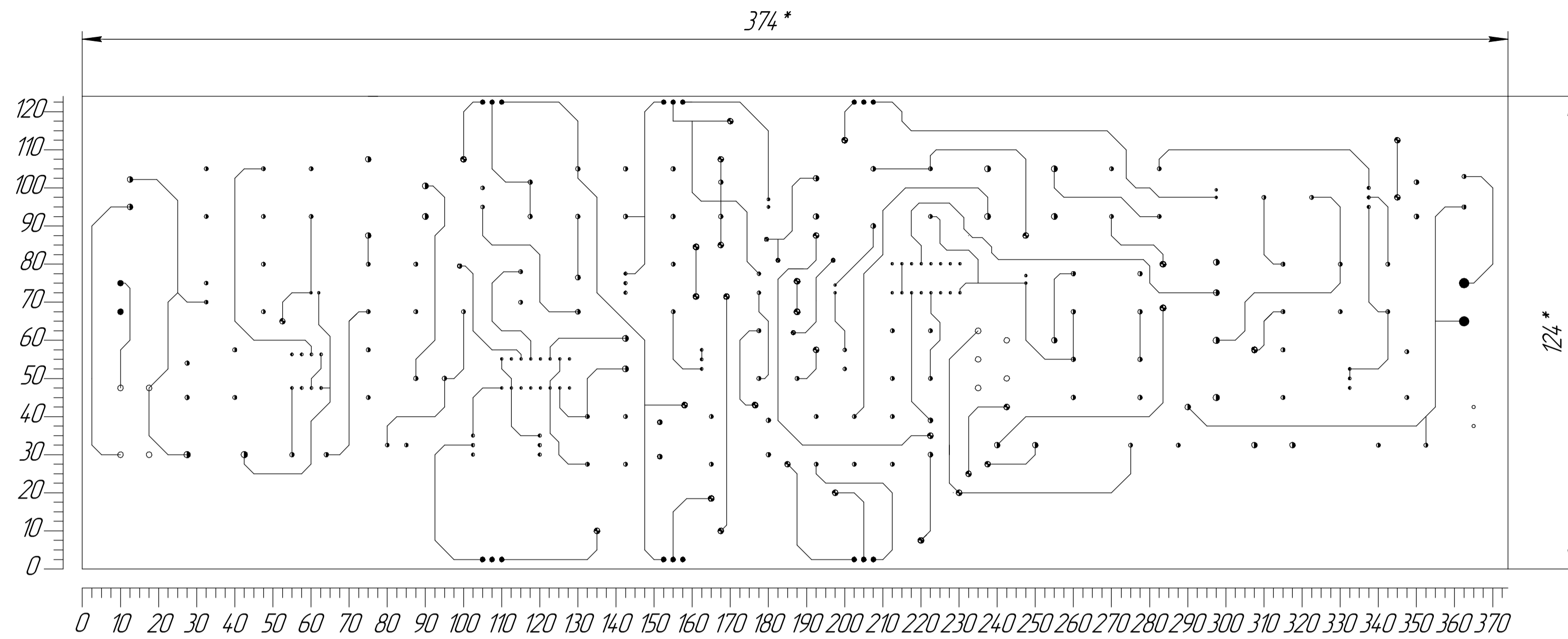
Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ор.	

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

СВВ 2.008.001 ПЕЗ

Арк.  
3



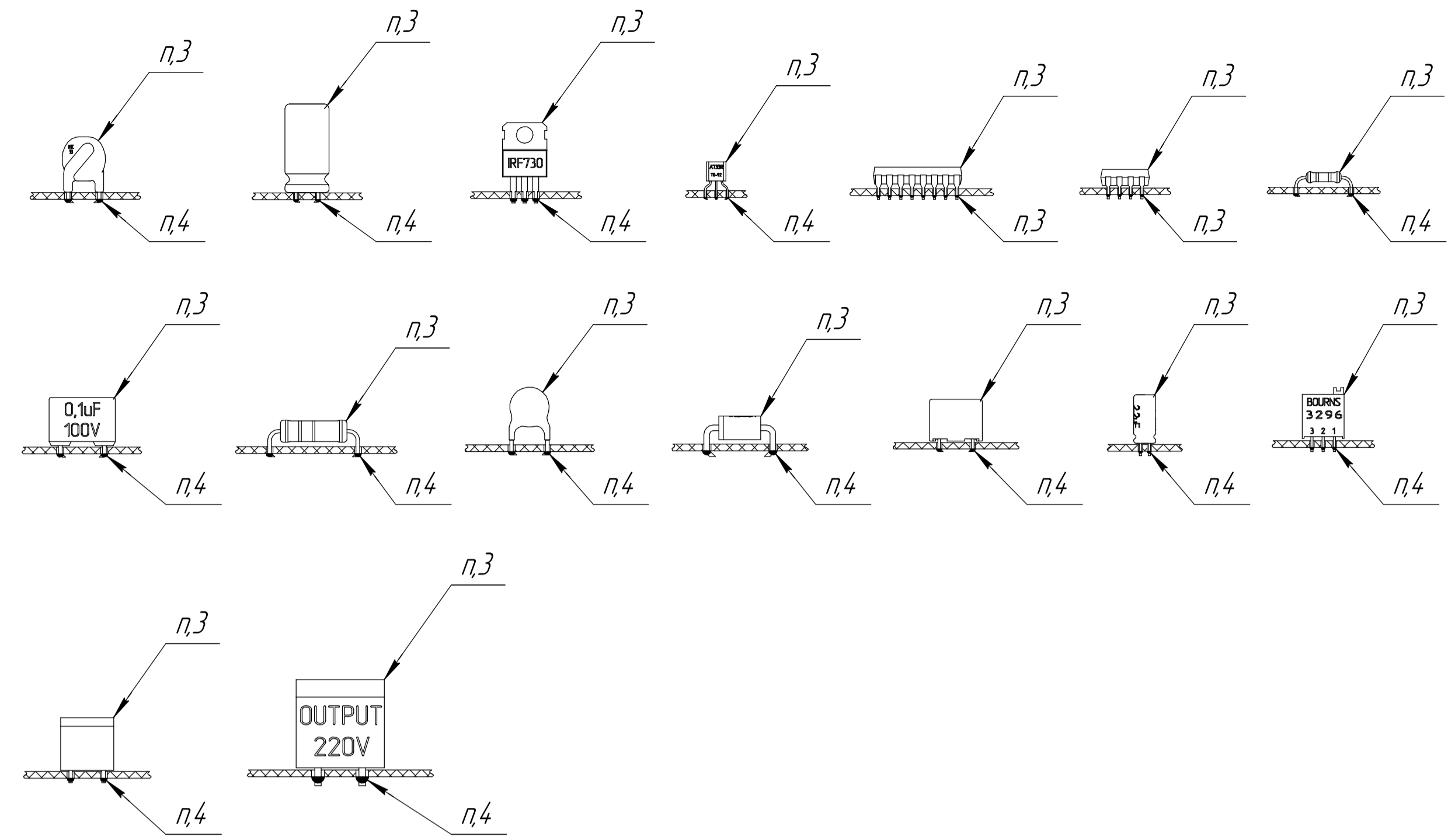
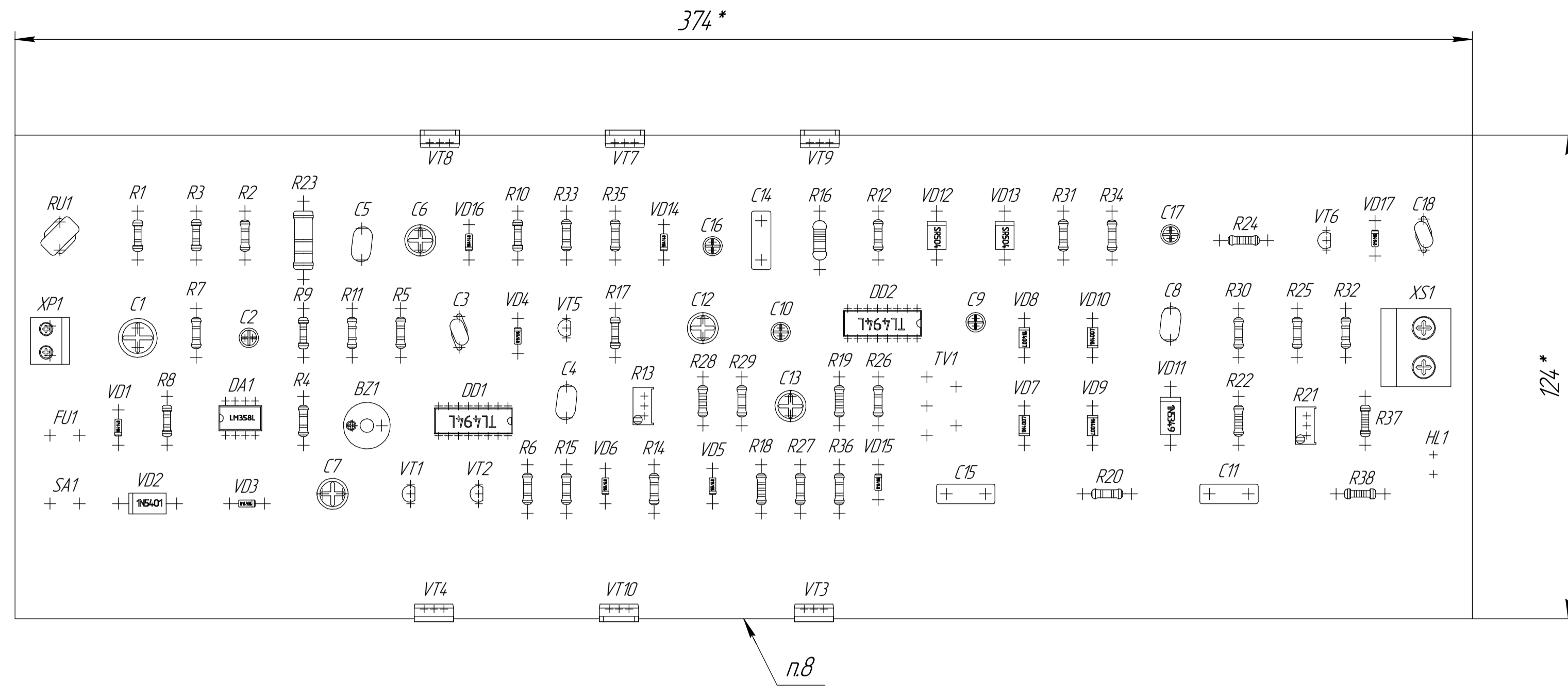


Таблиця отворів

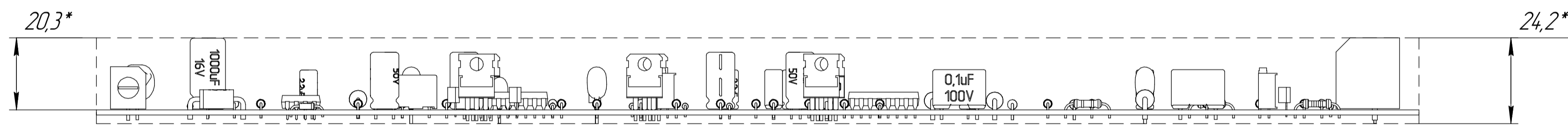
Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площ.	Наявність металізації	Кількість отворів
	0.7	1.5	3 металізацією	34
	1.1	2.2	3 металізацією	55
	1.5	2.7	3 металізацією	140
	2	3.4	3 металізацією	11

- \*Разміри для довідок
- Плата повинна відповідати ДСТУ 23752-79.
- Клас точності 2 по ДСТУ 23751-86
- Крок координатної сітки 2,5 мм
- Плату виконати комбінованим позитивним методом
- Параметри отворів – див. таблицю 1
- Мінімальна ширина друкованих провідників 1 мм
- Мінімальна відстань між друкованими провідниками 1 мм
- Плату захищати фарбою ТН ПФ-01 біла ТУ 29-02-889-88 шрифтом 2,5 ПР. 41 ДСТУ 26020-80
- Контактні площадки покрити припоєм ПОС-61 ДСТУ 931-76
- Інші технічні вимоги по ОСТ 4.ГО.005.051

СВВ.7.103.001				Лист	Вага	Масштаб	
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Г	-	11
Розроб.	Стандик В				Архив	Архив	1
Перевір.	Яськів В. І.				ТНТУ ім. І. Пулюя		
Реценз.	Хвостівський М. О.				група РАС-41		
Нантпр.	Хвостівський Л. В.				Формат А1		
Затверд.	Дунець В. П.						



15\*



1. \*Розмір для довідок
2. Підготовку до монтажу проводити згідно ДСТУ2779
3. Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ2783. Елементи встановити згідно до зображених варіантів на кресленні
4. Паїку елементів виконувати у відповідності з ОСТ4ГО.054.267.
5. Паста КПТ-8 ОСТ21831-65.
6. Різьбові з'єднання стопорити емаллю ПФ-115
7. Маркувати номером, датою, літерою зміни ПФ115.
8. Друкований вузол покрити лаком УР-231 ТУ6-21-14-90.
9. Елементи схеми позначення показані умовно

				КВ 2.008.001 СК			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Вага	Масштаб
					Т	0	11
Друкований вузол інвертора напруги 12/220В					Складальне креслення		
Розроб. Стайчик В.В.					Архив		
Перевір. Яськів В.І.					Архив		
Реценз. Хвостський М.О.					Архив		
Інженер. Хвостський Л.В.					ТНТУ ім. І. Пулюя		
Затверд. Дунеч В.П.					група РАС-41		
					Формат А1		

Первісне застосування  
Листів №  
Лист і дата  
Зам. №, №  
Лист і дата  
Лист і дата

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
<u>Документація</u>							
A2			СВВ 2.008.001 Е1	Схема структурна			
A2			СВВ 2.008.001 Е3	Схема електрична принципова			
A1			СВВ 2.008.001 СК	Складальне креслення			
<u>Деталі</u>							
A1	1		СВВ 7.103.001	Плата друкована	1		
<u>Інші вироби</u>							
<u>Гучномовець</u>							
		2		TMB12A HNDZ			
				TMB12A03 3 В, 170 мкА, 0.09 Вт	1	BZ1	
<u>Діоди</u>							
				1N4148 Semtech			
				1N5401 Fairchild			
				Semiconductor			
				1N4007 Taiwan			
				Semiconductor			
				SR504 Diotec			
				Semiconductor			
		3		1N4148, 100 В, 200 мА, DO-35	4	VD1, VD3, VD6, VD14... VD18	
<b>СВВ 2.008.001</b>							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.		Стадник В. В.			Перетворювач напруги 12 - 220В  Специфікація  ТНТУ ім. І. Пулюя група РАС-41 Формат А4		
Перевір.		Ясків В. І.					
Реценз.		Хвостівський М. О.					
Н.контр.		Хвостівська Л. В.					
Затверд.		Дунець В. В.					
Копіював					Лім.	Аркуш	Аркушів
						1	6

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		4		1N5401, 100В, 3 А, DO-27	1	VD2
		5		1N4007, 1000 В, 1 А, DO-41	4	VD7...VD10
		6		SR504 400В, 5А DO-201AD	2	VD12-VD13
				<u>Запобіжник</u> CH ETI		
		7		CH, 20А, 10x38 мм	1	FU1
				<u>Конденсатори</u> ECAP Samwha K10-7B Ether components CT4 Shanghai Jinpei Electronic MCC Hitano CC3K SR Passives		
		8		ECAP-LOW-ESR, 1000мкФ, 16В, ±20%	1	C1
		9		ECAP-SK, 2,2мкФ, 50В, ±10%	5	C2, C9-C10, C16-C17
		10		K10-7B, 1000нФ, 50В, ±20%	1	C3
		11		CT4, 1мкФ, 50В, ±10%	2	C4-C5
		12		ECAP-LOW-ESR, 47мкФ 25В, ±20%	3	C6-C7 C13
		13		CT4, 220нФ, 50В, ±10%	1	C8
		14		MCC, 0,1мкФ, 50В, ±10%	3	C11, C14-C15
		15		ECAP-LOW-ESR, 10мкФ, 400В, ±20%	1	C12
		16		CC3K, 220нФ, 400В, ±10%	1	C18
				<b>СВВ 2.008.001</b>		
						Арк. 2
Інв. № ор.	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Підп. і дата		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Мікросхема інтегральна		
				аналогова		
				LM358 Unisonic		
				Technologies		
		17		LM358L, 16 В, 0,7 мА,	1	DA1
				DIP-8		
				Перемикач		
				KCD-1-2-101N		
				АСКО-УКРЕМ		
		18		KCD-1-2-101N, 250 В,	1	SA1
				10 А, IP20		
				Резистори		
				MF Multicomp Pro		
				WH Omter		
				RM BOCHEN		
		19		MF-25, 0.5 Вт, 47 кОм,	2	R1, R3
				±10%		
		20		MF-25, 0.25 Вт 3 кОм,	5	R2, R30,
				±10%		R32...R34
		21		MF-25, 0.25 Вт, 1 кОм,	4	R4, R6,
				±10%		R14-R15
		22		MF-25, 0.25 Вт, 15 кОм,	1	R5
				±10%		
		23		MF-25, 0.25 Вт, 16 кОм,	1	R7
				±10%		
		24		MF-25, 0.5 Вт, 51 кОм,	2	R8, R17
				±10%		
		25		MF-25, 0.5 Вт, 27 кОм,	1	R9
				±10%		
Інв. № ор.						
Зам. інв. №						
Інв. № дубл.						
Підп. і дата						
Підп. і дата						
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	СВВ 2.008.001	
					Арк. 3	





